



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENGUKURAN EFISIENSI PANEL SURYA TIPE
MONOKRISTALIN DAN KARAKTERISASI STRUKTUR
MATERIAL PENYUSUNNYA**

**Yuli Setyaningrum
NRP 1113 100 031**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto, M.Sc**

**Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENGUKURAN EFISIENSI PANEL SURYA TIPE
MONOKRISTALIN DAN KARAKTERISASI STRUKTUR
MATERIAL PENYUSUNNYA**

**Yuli Setyaningrum
NRP 1113 100 031**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto, M.Sc**

**Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**EFFICIENCY MEASUREMENT OF MONOCRYSTALLINE
SOLAR CELL AND CHARACTERIZATION OF ITS
MATERIALS STRUCTUR**

**Yuli Setyaningrum
NRP.1113.100.031**

**Advisor Lecturer
Prof.Dr. Darminto, M.Sc**

**Physics Department
Faculty of Mathematics and Sciences
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUKURAN EFISIENSI PANEL SURYA TIPE MONOKRISTALIN DAN KARAKTERISASI STRUKTUR MATERIAL PENYUSUNNYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Pada Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

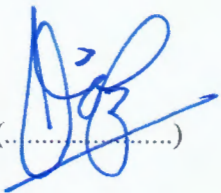
Disusun Oleh :

Yuli Setyaningrum
NRP.1113.100.031

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Darminto, M.Sc
NIP. 19600303 198701.1.002

(.....)



Surabaya, Januari 2011



PENGUKURAN EFISIENSI PANEL SURYA TIPE MONOKRISTALIN DAN KARAKTERISASI STRUKTUR MATERIAL PENYUSUNNYA

Nama : Yuli Setyaningrum
NRP : 1113.100.031
Departemen : Fisika FMIPA ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Darmminto, M.Sc

Abstrak

Indonesia merupakan wilayah dengan penyinaran matahari berlangsung sepanjang tahun sehingga cahaya matahari merupakan sumber energi terbarukan yang melimpah yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan panel surya. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran efisiensi panel surya tipe monokristalin dan karakterisasi material penyusunnya menggunakan uji XRD dan Mikroskopi (Optik dan SEM). Dari hasil uji XRD menunjukkan bahwa material penyusun panel surya yang digunakan adalah Silikon murni. Sementaraitu, hasil pengujian SEM dan microscop optik dapat diketahui bahwa ukuran kristal penyusunnya berukuran $28,6\mu\text{m} \times 28,6\mu\text{m}$ dan tersusun secara rapi serta teratur. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa panel surya tipe monokristalin ini menghasilkan efisiensi tinggi ketika suhu permukaan sel surya mendekati suhu kamar karena pada suhu tersebut tegangan output turun dengan arus output naik. Dan efisiensi akan turun saat suhu permukaan sel surya lebih tinggi dari suhu kamar karena pada suhu tersebut tegangan output turun dengan arus output konstan sehingga efisiensi rendah.

Kata kunci: Efisiensi, Intensitas, Mikroskopik, Panel Surya, SEM, XRD

EFFICIENCY MEASUREMENT OF MONOCRYSTALLINE SOLAR CELL AND CHARACTERIZATION OF ITS MATERIAL STRUCTURE

Name : Yuli Setyaningrum
NRP : 1113.100.031
Department : Physics
Advisor : Prof.Dr. Darminto, M.Sc

Abstract

Indonesian archipelago has abundant solar radiation over the year, which is a renewable source of energy to be converted into electricity by solar panel. In this research, the efficiency of mono-crystalline solar panel was measured and materials structure was characterized by using XRD and microscope (optical and electron/SEM). The XRD spectrum indicates that material used for solar panels is pure Silicon. Meanwhile, from the result of SEM and optical microscope, it is known that the crystal size of silicon is about $28.6\ \mu\text{m} \times 28.6\ \mu\text{m}$ showing a good order structure. When the solar panel is at an ambient temperature, the output power is generally high, so that the efficiency is high. However, at higher temperature the output power decreases and the efficiency is lower.

Keywords: *Efficiency, Intensity, Microscopy, SEM, Solar Cell, XRD*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul **“Pengukuran Efisiensi Panel Surya Tipe Monokristalin dan Karakterisasi Struktur Material Penyusunnya”**

Dalam penulisan ini tidak lepas dari bantuan-bantuan dari pihak-pihak terkait baik membantu secara langsung maupun secara tidak langsung. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, diantaranya :

1. Bapak Prof.Dr. Darminto, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu, saran, serta kritik yang bersifat membangun sehingga laporan ini dapat selesai dengan baik.
2. Dr. Melania Suweni Muntini, MT selaku dosen wali semester 3 hingga semester 7 atas semua kritik, saran dan masukan selama penulis melakukan perwalian dan berkuliah di Departemen Fisika ITS.
3. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng selaku Kepala Departemen Fisika ITS dan dosen wali semester 1 dan 2 selama penulis berkuliah di Departemen Fisika ITS.
4. Tante, Mbak Darul, Mas Anang, Bapak, dan Ibuk yang selalu memberi dukungan, motivasi, dan do'a selama penulis menjalani perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.
5. Ryandi Bachrudin Yusuf, selaku teman yang selalu mendoakan, mendorong, dan memberi semangat, serta menemani penulis hingga selesainya laporan tugas akhir ini.
6. Team Sel Surya (Shelly, Ayunis, Kresna, Mas Sony, dan Mas Nino) selaku *partner* dalam pengerjaan laporan ini dari awal hingga selesai.
7. Teman-teman Supernova 2013 yang memberikan semangat dan segala bantuan kepada penuis hingga selesainya pengerjaan tugass akhir ini.

8. Mas Sholeh, Mas Mufid, dan Mas Slamet selaku laboran yang membantu penulis mengerjakan tugas akhir.
9. Laboran dan karyawan tata usaha Departemen Fisika ITS

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak sekali kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi lebih baiknya laporan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk kedepannya. Wassalamualaikum wr. wb.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Semikonduktor	5
2.2 Semikonduktor Tipe p dan Tipe N	6
2.3 Sambungan P-N	7
2.4 Sejarah Sel Surya	8
2.5 Sel Surya	9
2.6 Jenis-Jenis Sel Surya	12
2.7 Efisiensi Sel Surya	15
2.8 Faktor Pengoperasian Sel Surya	17
2.9 Daya	20
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan	21

3.2	Diagram Alir Percobaan	22
 BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Karakterisasi Maaterial dengan XRD	31
4.2	Analisis Hasil Uji Mikroskop dan SEM	33
4.3	Data Hasil Pengukuran	37
 BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
 DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		51
BIODATA PENULIS		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Semikonduktor tipe p dan tipe n	6
Gambar 2.2	Sambungan p-n	7
Gambar 2.3	Ikatan kovalen kristal silikon	10
Gambar 2.4	Skema sel surya	11
Gambar 2.5	Sel surya monokristalin	12
Gambar 2.6	Sel surya polikristalin	13
Gambar 2.7	Sel surya amorf	14
Gambar 2.8	Panel surya lapisan tipis	14
Gambar 2.9	Kurva I-V karakteristik arus tegangan	16
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	22
Gambar 3.2	Rangkaian alat	23
Gambar 3.3	Alat uji XRD	26
Gambar 3.4	Alat uji SEM	26
Gambar 3.5	Alat uji mikroskopi	27
Gambar 4.1	Grafik XRD	31
Gambar 4.2	Grafik XRD logaritmik	32
Gambar 4.3	Hasil Uji Mikroskopi dengan perbesaran 1000x	33
Gambar 4.4	Hasil Uji SEM dengan perbesaran 2000x	34
Gambar 4.5	Perbedaan Monkristalin dan Polikristalin	35
Gambar 4.6	Panel Surya Monokristalin	36
Gambar 4.7	Panel Surya Polikristalin	36
Gambar 4.8	Kurva I-V Cerah	38
Gambar 4.9	Kurva I-V Mendung	39
Gambar 4.10	Grafik Waktu-Efisiensi saat Cerah	41
Gambar 4.11	Grafik Waktu-Efisiensi saat Mendung	42
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Waktu dengan Daya Output saat Cerah	43
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Waktu dengan Daya Output saat Mendung	43

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Parameter Keadaan Pengambilan Data Cerah	43
Tabel 4.2	Parameter Keadaan Pengambilan Data Mendung	43
Tabel Peak	Peak List Hasil Uji XRD	51
Tabel 1	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 08.00-09.00	55
Tabel 2	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 09.00-10.00	56
Tabel 3	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 10.00-11.00	57
Tabel 4	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 11.00-12.00	58
Tabel 5	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 12.00-13.00	60
Tabel 6	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 13.00-14.00	61
Tabel 7	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 14.00-15.00	61
Tabel 8	Hasil Pengukuran Cerah Pukul 15.00-16.00	61
Tabel 9	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 08.00- 09.00	63
Tabel 10	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 09.00- 10.00	63
Tabel 11	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 09.00- 10.00	64
Tabel 12	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 10.00- 11.00	65
Tabel 13	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 11.00- 12.00	66
Tabel 14	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 12.00- 13.00	67
Tabel 15	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 13.00- 14.00	67
Tabel 16	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 14.00- 15.00	68
Tabel 17	Hasil Pengukuran Mendung Pukul 15.00- 16.00	68

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Hasil Uji XRD	51
Lampiran B	Hasil Uji Mikroskopi	52
Lampiran C	Hasil Uji SEM	53
Lampiran D	Hasil Pengukuran	55

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diprediksi jumlah penduduk di dunia ini akan naik menjadi 8,1 miliar jiwa pada tahun 2025 dari jumlah 7,2 miliar jiwa pada saat ini. Dan diperkirakan jumlah tersebut masih akan terus berkembang menjadi 9,6 miliar pada tahun 2050. Prediksi sebelumnya, penduduk dunia diperkirakan hanya mencapai 9,3 miliar jiwa pada tahun 2050. Perkembangan jumlah penduduk di bumi ini yang begitu melesat pasti juga akan diimbangi dengan penggunaan energi yang semakin banyak juga termasuk energi listrik. Dan telah diketahui bahwa selama ini manusia bergantung pada penggunaan energi yang habis pakai atau dalam kata lain energi yang tidak dapat diperbarui. Misalnya saja minyak bumi, batu bara, dan gas bumi. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi demi kelangsungan hidup seluruh umat manusia, maka diperlukan usaha yang sebanding dengan pemakaian agar pengeksploitasi energi semakin meningkat.

Selain itu, khusus di Indonesia belum mampu menyediakan listrik kepada seluruh wilayah Indonesia karena masih sangat bergantung pada energi fosil yang tidak terbarukan tersebut. Sementara cadangan energi yang terbatas, namun penggunaan energi meningkat sekitar 7% tiap tahunnya (JaringNews, 2007). Di samping hal itu, penggunaan fosil yang berlebih memberikan dampak yang buruk kepada lingkungan dikarenakan proses pembakaran energi fosil menghasilkan emisi gas rumah kaca yang memberikan dampak berupa pemanasan global dan akhirnya menimbulkan perubahan iklim.

Energi matahari merupakan sumber energi terbesar yang berkelanjutan dan tidak akan pernah habis khususnya energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari. Selain itu, energi matahari tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber daya alternatif baru yang dapat dimanfaatkan secara optimal. Setiap

wilayah memiliki potensi yang berbeda-beda dipengaruhi oleh posisi matahari, kedudukan wilayah, serta kondisi atmosfer. Untuk Indonesia ini sendiri berada di wilayah katulistiwa yang artinya memiliki potensi energi matahari yang sangat besar setiap tahunnya sehingga di Indonesia sangat baik dimanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi dalam kehidupan sehari-hari pengganti energi fosil. Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan menggunakan teknologi poltovoltaik yaitu pengkonversian energi matahari menjadi energi listrik. (Septiadi, dkk. 2009).

Karena itu, Indonesia sangat melimpah akan energi matahari. Maka dapat dimanfaatkan dengan mengkonversi menjadi energi listrik menggunakan solar panel atau biasa disebut sebagai sel surya. Hanya saja dalam 10 hingga 12 jam tidak semua wilayah Indonesia dalam keadaan cerah, terkadang juga cuaca mendung, berawan, dan tidak stabil. Maka dibutuhkan rata-rata berapa lama optimalnya penyerapan energi matahari yang maksimal dalam setiap harinya untuk perencanaan beban yang akan dipasang agar penggunaan listrik optimal dan tidak terjadi pemadaman atau pengosongan baterai yang terlalu cepat karena beban yang terpasang terlalu berat. Dengan semakin berkembangnya teknologi, kini sel surya terdapat beberapa spesifikasi, diantaranya jenis monokristal dan single kristal. Keduanya mempunyai fungsi yang sama namun berbeda sifatnya.

Untuk itu, penulis ingin melakukan analisis dan pengukuran mengenai intensitas cahaya matahari terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya tipe monokristal dan melakukan karakterisasi untuk mengetahui struktur materialnya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana intensitas cahaya matahari pada kondisi cerah dan berawan?
2. Bagaimana susunan kristal dan sifat-sifat material penyusun sel surya tipe monokristal?

3. Bagaimana efisiensi dari sel surya tipe monokristal untuk berbagai kondisi cuaca?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Tipe sel surya yang digunakan adalah monokristal
2. Karakterisasi yang dilakukan terhadap material adalah XRD, Mikroskopi, dan SEM.
3. Pengambilan data dilakukan sesuai cuaca matahari.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui efisiensi dari sel surya tipe monokristal.
2. Untuk mengetahui susunan kristal dan sifat-sifat material penyusun sel surya tipe monokristal
3. Untuk mengetahui intensitas cahaya matahari pada kondisi cuaca cerah dan berawan

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian ini, dapat dilakukan perkembangan lebih baik lagi mengenai sel surya hingga diciptakan sel surya yang mempunyai efisiensi yang lebih baik dengan material-material yang sesuai dan lebih baik. Selain itu juga dapat ditemukan material penyusun sel surya dengan harga yang terjangkau sehingga masyarakat di dunia ini khususnya di Indonesia beralih memanfaatkan energi matahari pengganti energi fosil mengingat energi fosil semakin habis dan tidak dapat diperbaharui.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan.

Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori sebagai acuan, dan pendukung dalam penelitian ini.

Bab III – Metodologi Penelitian, berisi uraian mengenai metode, alur dan penjelasan alur dalam penelitian ini.

Bab IV – Analisis dan Pembahasan, berisi uraian mengenai analisa, hasil serta pembahasan dalam penelitian ini.

Bab V – Kesimpulan dan Saran, berisi uraian mengenai hasil yang telah dicapai, dan saran yang bersifat membangun untuk penelitian ini kedepannya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Material Semikonduktor

Bahan semikonduktor mempunyai konduktivitas listrik yang nilainya antara isolator dan konduktor yang besar energi gabnya $< 6 \text{ eV}$. Cu yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material semikonduktor mempunyai energi gab sebesar $2,1 \text{ eV}$ sehingga cocok digunakan untuk bahan dasar pembuatan sel surya. Sumber energi utama pembangkit daya jenis konversi ini adaah radiasi panjang gelombang pendek misalnya yang dihasilkan oleh bahan radioaktif yang memiliki nilai panjang gelombang sekitar $0,01$ dengan radiasi matahari dengan panjang gelombangnya sekitar 5000 . Salah satu penyusun dari matahari adalah spektrum ultraviolet yang memiliki panjang gelombang pendek.

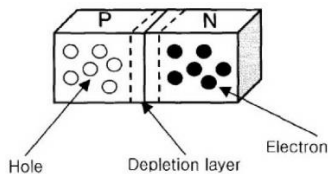
Karena nilai konduktivitas dari semikonduktor dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan material lain atau biasa disebut dengan istilah doping, maka seikonduktor juga sangat berguna dalam bidang elektronik. Istilah doping adalah salah satu metode dengan menambahkan suatu bahan pengotor atau biasa disebut dengan impuritas ke dalam semikonduktor dengan sengaja. (Kittel, 1996). Nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan dari material lain tidak jauh berbeda dengan menggunakan material tembaga oksida yang mana proses pengolahannya juga tidak terlalu rumit karena hanya dalam penggunaan sumber sinar dan ukuran lempeng yang berbeda (Pratama, 2007).

Material semikonduktor banyak digunakan dalam bahan dasar pembuatan peralatan elektronik, dimana selama inni kebutuhan material semikonduktor dipenuhi dari komposit plastik dengan bahan aktif silika. Selama ini komposit plastik untuk material semikonduktor terbuat dari turunan minyak bumi yang banhan bakunya semakin hari semakin terbatas dan tidak dapat diperbaharui (*non renewable resource*). Di Eropa, komposit plastik yang dibutuhkan untuk peralatan elektronik dan elektrik sebanyak 5% dari jumlah penggunaan material plastik (Shen, 2010). Komponen

semikonduktor yang tidak dipergunakan lagi akan dibuang menjadi sampah plastik yang mengakibatkan polusi terhadap lingkungan karena sulit untuk diuraikan (*nondegradable*) (Avella, 2009).

2.2 Semikonduktor Tipe p dan Tipe n

Apabila kristal silikon ditambahkan unsur golongan kelima seperti arsen, atom-atom akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas itu berasal dari kelebihan elektron dari arsen terhadap lingkungan sekitarnya yaitu silikon. Semikonduktor jenis ini disebut jenis semikonduktor tipe n. Sebaliknya, apabila kristal siliko ditambah oleh unsur golongan ketiga, misal boron maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan silikon mengakibatkan adanya hole yang bermuatan positif pada semikonduktro tersebut yang namanya adalah semikonduktor tipe p. Tambahan tersebut mengakibatkan semikonduktor lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada jenis semikonduktor tipe p maupun jenis semikonduktor tipe n.



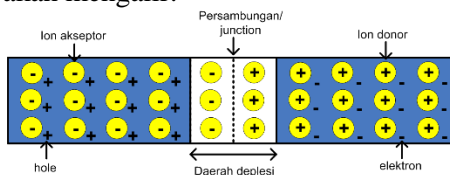
Gambar 2.1 Semikonduktor Tipe P (kiri), Tipe N (kanan)
(Elektronika-dasar.web.id)

2.3 Sambungan p-n

Saat material semikonduktor tipe-p dan tipe-n dihubungkan akan terjadi difusi hole dari tipe-p menuju tipe-n dan terjadi difusi elektron dari tipe-n menuju ke tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negatif pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatann pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi yang akan

mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus drift, yaitu arus yang dihasilkan karena munculnya medan listrik. Akan tetapi, arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut (Ady, 2008).

Elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Munculnya medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada solar sel sambungan p-n yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar elektron dapat mengalir karena kehadiran medan listrik tersebut. Ketika junction disinari, foton yang memiliki 5 buah elektron atau lebih dari lebar pita 5 elektron tersebut akan mengakibatkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga mengakibatkan pasangan 5 elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal solar sel, maka 5 elektron dari area n akan kembali ke area p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.



Gambar 2.2 Sambungan P-N
(dynamicrouting.blogspot.com)

2.4 Sejarah Sel Surya

Pertama kali aliran listrik matahari (surya) ditemukan oleh Alexander Edmond Beequerel seorang ahli fisika dari Jerman abad ke-19 yang menangkap peristiwa secara kebetulan berkas sinar matahari mengenai larutan elektrolit kimia yang mengakibatkan peningkatan muatan elektron. Kemudian pada abad ke-20 Albert

Einstein memulai untuk mengembangkan penemuan tersebut yang kemudian menamai penemuan Alexander Edmond Beequerel dengan nama “*Photoelectric Effect*” yang menjadi dasar pengertian dari “*Photovoltaic Effect*”. Einstein melakukan pengamatan pada sebuah lempeng metal yang melepaskan foton partikel energi cahaya ketika energi matahari mengenainya. Lalu foton-foton tersebut secara terus menerus mendesak atom metal sehingga terjadi partikel energi foton yang bersifat gelombang energi cahaya.

Sinar yang memiliki energi foton tinggi dan gelombangnya pendek dinamakan sinar “*ultraviolet*”. Sebaliknya sinar yang memiliki energi foton rendah dan memiliki gelombang panjang diberi nama “*infrared*”. Sekitar tahun 1930 hasil pengamatan Einstein menemukan konsep baru yaitu Mekanika Kuantum yang digunakkan untuk menciptakan teknologi *solid state*. Kemudian teknologi ini dimanfaatkan oleh *Bell Telephone Research Laboratories* untuk membuat sel surya yang pertama kalinya. Dengan perkembangan zaman pemanfaatan dan penampakan sel surya semakin berkembang. Pada tahun 1950-1960 sel surya siap diaplikasikan ke pesawat ruang angkasa. Kemudian perkembangan semakin pesat terjadi pada tahun 1970 yang mana sel surya diperkenalkan secara besar-besaran ke seluruh penjuru dunia sebagai energi alternative terbarukan dan ramah lingkungan. Oleh sebab itu, PV mulai diaplikasikan pada *Low Power Warning System* dan *Offshore Buoys*. Namun masih terdapat kendala belum dapat membuat PV dalam jumlah banyak karena pada saat itu masih diproduksi secara manual. Barulah pada tahun 1980-an perusahaan-perusahaan membuat PV dan bekerjasama dengan pemerintah agar produksi dapat dilakukan semakin banyak dengan biaya yang lebih murah (Pahlevi, 2014).

2.5 Sel Surya

Sel Surya atau biasa disebut dengan *Solar Cell* merupakan suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik yang pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif

dan kutub negatif. Prinsip dasar dari pembuatan sel surya adalah efek *Photovoltaic*. *Photovoltaic* adalah efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali dikenalkan oleh *Bacquerel* yaitu seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis tahun 1839. Apabila terdapat sebuah logam dikenai suatu cahaya berupa foton dengan frekuensi tertentu, energi kinetic dari foton akan menembak kea to-atom logam tersebut. Atom logam yang diradiasi akan melepaskan elektron-elektronnya yang disebut elektron bebas. Elektron bebas ini akan mengalirkan arus dengan jumlah tertentu (Mallvino, 1986).

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel, yang mana cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak mempunyai dua sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat pula sebagai partikel yang biasa disebut dengan foton. Penemuan ini pertama kali pertama kali diungkapakn oleh seorang fisikawan ternama yaitu Einstein tahun 1905. Besarnya energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang tertentu dapat dicari dengan rumus berikut:

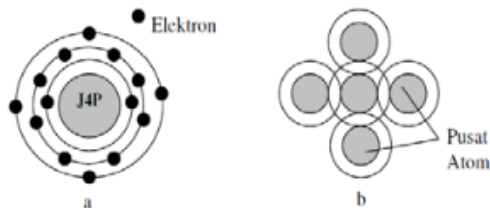
$$\lambda \cdot E = h \cdot c \quad (1.1)$$

dimana : h = konstanta *Plancks* (6.62×10^{-34} J.s)
 c = kecepatan cahaya dalam vacuum (3×10^8)
 E = energi
 λ = panjang gelombang cahaya

yang mana Persamaan (1.1) menunjukkan bahwa foton dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau gelombang dengan nilai panjang gelombang dan nilai frekuensi tertetu (Green, 2006).

Sel surya merupakan semikonduktor yang radiasi surya yang mengenainya langsung diubah menjadi energi listrik. Material yang sering digunakan dalam pembuatan sel surya adalah silikon kristal yang mana dimurnikan hingga satu tingkat yang tinggi. Atom merupakan partikel yang membentuk suatu unsur dan terdiri dari inti bermuatan positif yang biasa disebut proton dan neutron bermuatan

netral. Inti atom dikelilingi oleh elektron bermuatan negatif. Sebuah atom silikon terdiri dari sebuah inti yang berisi proton dan dikelilingi oleh 14 elektron yang beredar dalam lintasan tertentu. Jumlah maksimum dari elektron dalam tiap lintasan mengikuti pola $2n^2$, yang mana n adalah nomor lintasan dari atom. Ketika atom-atom silikon bergabung membentuk zat padat, maka atom-atom tersebut akan membentuk suatu pola teratur yang disebut sebagai kristal. Satu atom silikon mempunyai 4 elektron valensi dan 4 atom tetangga. Setiap atom tetangga memberikan sebuah elektron yang dipakai bersama-sama dengan atom yang beradanya di tengah. Karena atom yang ditengah mendapatkan tambahan 4 elektron dari tetangga maka jumlah elektron valensi menjadi 8 buah, karena inti atom yang berdekatan memiliki muatan positif akan menarik elektron-elektron yang dipakai bersama sehingga menciptakan gaya yang sama besar akan tetapi berlawanan arah.



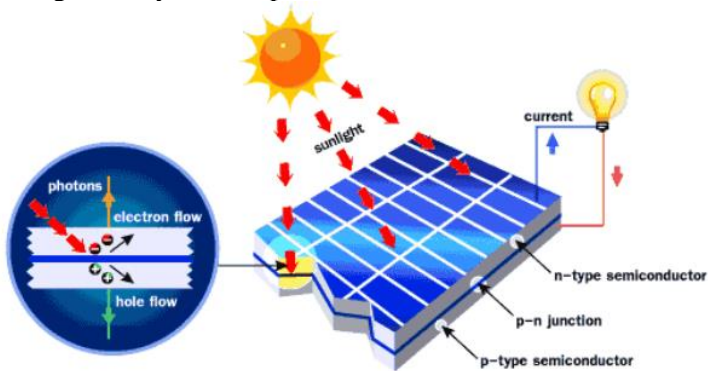
Gambar 2.3. Ikatan Kovalen Kristal Silikon

Seperti gambar diatas, penarikan dalam arah yang berlawanan ini menyebabkan atom-atom akan terikat dalam ikatan kovalen (Malvino, 1986).

Penggambaran kinerja sel surya secara garis besar ditekankan pada karakteristik dari arus keluaran yang dihasilkan. Tidak mudah memprediksi karakteristik dari kinerja masing-masing material karena perbedaan material penyusunnya. Hal ini mengakibatkan pemodelan terhadap karakteristik yang dimiliki. Pada tahun 2002 dilakukan peninjauan pengaruh ukuran butir kristal terhadap kinerja sel surya melalui pemodelan terhadap sel surya

berbasis lapisan tipis silikon polikristal. Munculnya ineffisiensi sel surya diakibatkan oleh temperature operasional yang telah dikaji secara teoritis melalui pemodelan terhadap *triple junction* berbasis InGaP/GaAs/As (Sander, 2007).

Solar sel mulai populer dalam waktu dekat ini, karena menipisnya cadangan energi fosil dan adanya pemanasan global. Selain itu, energi yang dihasilkan sangat mudah dan murah karena memanfaatkan sumber energi matahari dapat diperoleh secara gratis. Untuk gambarnya bias seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Sel Surya (<http://trebuchet-magazine.com/wp-content/uploads/2013/02/solar-cell.jpg>)

2.6 Jenis-Jenis Sel Surya

A. Monokristalin

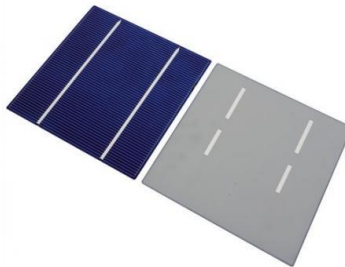
Sel surya jenis ini merupakan panel yang efisien yang dihasilkan dengan teknologi terbaru dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristalin dirancang untuk penggunaan tempat-tempat yang beriklim ekstrim dengan kondisi cuaca yang kurang menentu dan memiliki efisiensi sekitar 15%-20%. Kelemahan dari sel surya jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahayanya kurang, efisiensinya akan berkurang drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.5 Sel Surya Monokristal
(energisurya.wordpress.com)

B. Polikristalin

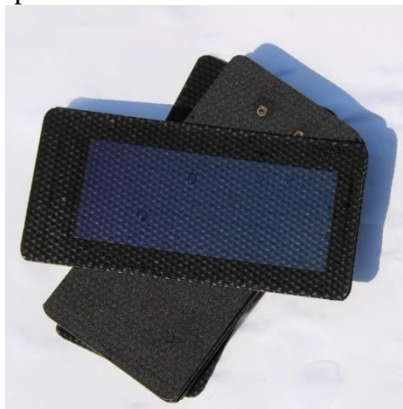
Untuk jenis sel surya yang satu ini memiliki susunan kristal yang acak karena difabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini membutuhkan luas permukaan yang lebih luas untuk mendapatkan daya yang sama dibandingkan dengan jenis monokristalin. Efisiensi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan monokristalin.



Gambar 2.6 Sel Surya Polikristal
(Indonesian.alibaba.com)

C. Amorf

Silikon amorphouse (a-Si) digunakan untuk bahan baku panel sel surya untuk kalkulator pada waktu tertentu. Kinerja dari *amorphouse* lebih rendah dibandingkan sel surya c-Si yang merupakan kristal tradisional, namun tidak terlalu penting dalam kalkulator yang menggunakan tenaga yang sangat minim. Perkembangan pada teknik a-Si saat ini membuat mereka menjadi lebih efektif untuk area yang lebih luas yang digunakan sel surya panel. Efisiensi tinggi dapat diperoleh ketika penyusunan beberapa layer sel a-Si yang tipis dibagian atas satu sama lain, setiap rangkaian diatur untuk bekerja pada frekuensi cahaya tertentu. Untuk produksi skala besar, keuntungannya bukan pada efisiensi melainkan untung pada biaya. Sel a-Si menggunakan sekitar 1% silikon daripada sel c-Si dengan biaya silikon merupakan factor terbesar dalam biaya produksi sel.



Gambar 2.7 Sel Surya Amorf
(id.alexpress.com)

D. Fotovoltaik Lapisan Tipis

Sel surya jenis ini merupakan jenis sel surya (lapis dua) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silikon dengan luas permukaan

yang diperlukan per Watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristalin dan polikristalin (digilib).



Gambar 2.8 Panel Surya Lapisan Tipis
(sanfordlegenda.blogspot.com)

2.7 Efisiensi Sel Surya

Kemampuan sel surya yang dapat menghasilkan energi listrik tentu berkaitan dengan teknologi fotovoltaik yang mampu menyerang gelombang elektromagnetik. Pada dasarnya prinsip sel surya ini berkebalikan dengan prinsip kerja LED (*light Emitting Diode*) yang mengubah energi listrik menjadi energi cahaya (Purnama, Ajeng, 2014). Kemampuan keseluruhan dari kekuatan mc-Si sel surya bergantung pada parameter lingkungan misalnya intensitas cahaya, besarnya sudut datang sinar matahari, dan temperatur sel. Meskipun parameter dari fotovoltaik misalnya saja *open-circuit voltage*, *short circuit current*, *maximum output power*, *fill factor*, dan efisiensi secara mendasar menjadi hal yang mempengaruhi intensitas cahaya (Chander, 2015).

Umumnya efisiensi dari sel surya digunakan sebagai parameter untuk membandingkan kinerja dari suatu sel surya terhadap sel surya lain dengan perlakuan yang serupa. Efisiensi adalah perbandingan energi yang keluar dari sel surya dengan energi yang masuk dari matahari. Efisiensi ini sendiri bergantung pada spektrum dan juga intensitas dari cahaya matahari dan temperatur sel surya itu sendiri. Efisiensi keluaran maksimum yang

disimbolkan dengan η yaitu prosentase daya keluaran optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang persamaannya adalah sebagai berikut (PV Education) :

$$\eta = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{I(t) \times A} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

η = Efisiensi Sel Surya

P_{out} = Daya Keluar

P_{in} = Daya Masuk

V_m = Tegangan Maksimum

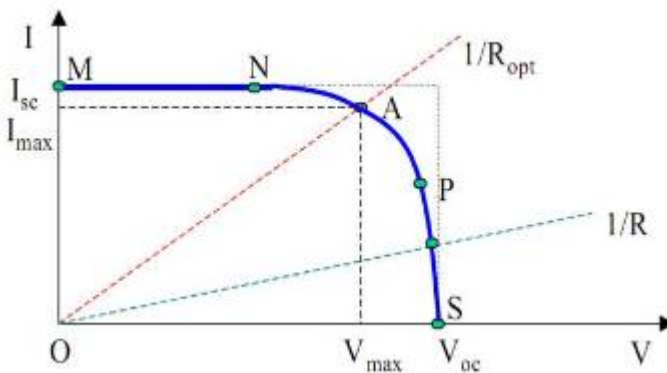
I_m = Arus Maksimum

V_{oc} = Open Circuit Voltage

I_{sc} = Short Circuit Current

$I(t)$ = Intensitas Cahaya

Terdapat beberapa hal yang membatasi nilai efisiensi dari panel surya, salah satunya adalah cahaya (dalam hal ini cahaya matahari). Menurunnya nilai efisiensi ada kaitannya dengan cahaya yang tidak mempunyai cukup energi. Cahaya matahari memiliki spektrum yang bervariasi. Untuk cahaya matahari yang sampai ke bumi mempunyai intensitas yang berbeda pada spektrum dari panjang gelombang. Selain itu, efisiensi akan berkurang apabila energi dari matahari yang diterima panel surya kecil, hal ini berkaitan dengan bagaimana cahaya dan panjang gelombang yang bervariasi berinteraksi dengan panel surya (Paul, Kenneth, 1982).



Gambar 2.9 Kurva I-V Karakteristik Arus Tegangan
(Hansen, 1994)

Dari gambar Kurva V-I diatas dapat diketahui bahwa arus hubungan terbuka atau *short circuit current* (I_{sc}) adalah arus keluaran maksimum dari sel surya pada kondisi tidak ada resistansi. Untuk tegangan rangkaian terbuka atau *open circuit voltage* (V_{oc}) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus. Daya maksimum pada gambar diatas (P_{max}) berada pada titik A (V_{ax} , I_{max}). Faktor pengisian atau *fill factor* adalah harga yang mendekati konstanta suatu sel fotovoltaik tertentu. Perbandingan antara daya maksimum yang didapat pada beban dengan perkalian I_{sc} dan V_{oc} . Jika nilai dari factor pengisi lebih dari 0.7 maka sel tersebut baik (Hansen, Anca, 1994).

Ada beberapa batasan-batasan efisiensi dari sel surya, salah satunya adalah cahaya. Hilangnya efisiesi dihubungkan dengan cahaya yang mempunyai energi kurang atau energi yang tinggi. Spektrum dari cahaya matahari pun juga bervariasi sehingga cahaya yang sampai ke bumi mempunyai intensitas yang berbeda pada spektrum dari panjang gelombang. Kejadian kehilangan efisiensi berhubungan dengan efek dari cahaya dengan energi yang sangat kecil atau energi yang sangat besar menghasilkan dari bagaimana

cahaya dengan panjang gelombang yang beranekaragam berinteraksi dengan sel surya (Hersch, Kenneth, 1982).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Subhash Chander, et al pada tahun 2015 mengenai pengaruh temperatur dalam parameter potovoltaik terhadap sel surya monokrital. Penelitian dilakukan dengan melihat perubahan temperature yaitu 25°C - 26°C yang dibandingkan dengan intensitas cahaya yang konstan dengan rentang $215\text{-}515\text{ W/m}^2$. Parameter dari fotovoltaik yang dapat diketahui dari penelitian tersebut adalah *open circuit voltage*, *short circuit current*, *fill factor* serta efisiensi sel surya (Afifudin, Farid, 2012).

2.8 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Dalam pengoperasian panel surya terdapat koponen yang menjadi faktor agar sel surya dapat beroperasi secara maksimal, diantaranya :

a. *Ambien Air Temperature*

Panel surya dapat beroperasi secara maksimal apabila temperature panel tetap normal pada temperature 25°C . Kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal pada sel surya akan melemahkan tegangan V_{oc} .

b. Radiasi Matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan berbeda dan bergantung pada keadaan spektrum matahari ke bumi. Insolation matahari akan banyak terpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terpengaruh terhadap tegangan (V).

c. Atmosfir Bumi

Saat keadaan atmosfir bumi yang mendung dan berawan, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut, dan polusi sangat berpengaruh untuk menentukan hasil maksimal arus listrik dari sel surya.

d. Tiupan Angin

Kecepatan angin di sekitar lokasi sel surya sangat membantu terhadap pendinginan temperature permukaan panel surya sehingga temperature dapat terjaga pada 25°C .

e. Orientasi Panel

Orientasi dari rangkaian panel surya ke arah matahari secara optimal memiliki efek yang besar untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah orientasi sudut, orientasi panel juga sangat memengaruhi hasil energi yang maksimum yang akan dihasilkan. Untuk wilayah yang terletak di belahan utara latitude, sebaiknya panel diorientasikan ke selatan. Dan sebaliknya, untuk yang terletak di belahan selatan latitude, panel sebaiknya diorientasikan ke utara. Akan tetapi, ketika panel diorientasikan ke arah timur dan barat sebenarnya akan tetap menghasilkan energi, hanya saja energi yang dihasilkan kurang maksimum.

f. Posisi Letak Panel Surya Terhadap Matahari

Mengatur sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan memperoleh energi maksimum sekitar 1000 W/m^2 . Dan untuk dapat mempertahankan tegak lurusnya sinar matahari terhadap panel surya diperlukan pengaturan panel surya karena arah matahari akan berubah tiap jam dalam sehari. (Pahlevi, 2014)

2.9 Arus dan Tegangan

Atom merupakan materi yang disusun berdasarkan partikel-partikel yang sangat kecil. Atom terdiri dalam berbagai gabungan yang terdiri dari partikel-partikel sub atom. Susunan tersebut diantaranya adalah elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron ialah muatan listrik negatif (-) yang paling mendasar. Elektron dalam cangkang keluar suatu atom disebut elektron valensi. Apabila energi kalor, cahaya, atau listrik yang merupakan energi eksternal diberikan pada suatu materi, maka elektron valensinya akan mendapat energi dan dapat berpindah

ketingkat energi yang lebih tinggi. Saat energi yang diperoleh cukup, sebagian dari elektron valensi terluar akan meninggalkan atomnya, sehingga statusnya berubah menjadi elektron bebas. Dalam hal ini gerakan elektron-elektron bebas tersebut menjadi arus listrik dalam konduktor logam. Aliran elektron disebut dengan arus (I) dalam satuan Ampere.

Saat sebagian atom kehilangan elektron dan sebagian lain memperoleh elektron akan memungkinkan terjadinya perpindahan elektron antar objek. Apabila perpindahan tersebut terjadi, distribusi muatan positif dan negatif pada setiap objek akan berbeda. Objek yang mempunyai jumlah elektron yang lebih banyak akan mempunyai polaritas listrik negatif. Jika objek kekurangan elektron, maka akan mempunyai polaritas listrik positif. Besaran muatan listrik akan ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol dari besaran muatan elektron adalah Q dengan satuan Coulomb. Besar $1C = 6.25 \times 10^8$ elektron.

Suatu muatan listrik mempunyai kemampuan untuk bekerja akibat suatu tarikan atau suatu tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatis. Kemampuan melakukan kerja ini disebut dengan potensial dalam satuan volt (V). Satuan ini biasa disebut dengan tegangan atau beda potensial. Pada suatu rangkaian terdapat suatu resistansi atau hambatan (R) sehingga pada rangkaian tersebut muncul hukum Ohm yang mendefinisikan hubungan antara arus (I) dan tegangan (V), serta hambatan (R). Hubungan dari ketiganya berlaku sesuai Persamaan 5 (Pahlevi, 2014).

$$I = \frac{V}{R} \quad (5)$$

Dengan :

I = Arus Listrik (A)

V = Tegangan (Volt)

R = Hambatan (R)

2.10 Daya

Sering kali daya listrik diartikan sebagai laju hantaran energi listrik pada suatu rangkaian listrik. Satuan standart internasional daya listrik adalah Watt (W) yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir dalam satuan waktu (Joule/detik) dengan symbol daya yaitu P. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan hukum Joule (Pahevi, 2014).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

a. Panel Surya Tipe Monokristalin

Panel surya ini merupakan objek yang diteliti, dengan luas sebesar 0.27432 m^2 .

b. Dua Buah Multimeter

Dua buah multimeter masing-masing digunakan untuk mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya tipe monokristalin tersebut.

c. Hambatan Geser

Komponen ini digunakan sebagai pemberi variasi hambatan pada rangkaian dalam proses pengambilan data tujuan pemberian variasi hambatan pada rangkaian adalah untuk mendapatkan nilai arus maksimum dan tegangan maksimum yang dihasilkan oleh panel surya pada masing-masing keadaan.

d. Kabel Buaya

Berfungsi sebagai piranti penghubung antar komponen dalam rangkaian.

e. Solarimeter

Alat ini merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur intensitas matahari pada saat proses pengambilan data.

f. Alat Ukur Suhu, Tekanan, dan Kelembaban

Alat ukur ini merupakan sebuah alat ukur yang sekaligus dapat mengukur suhu, tekanan, dan kelembaban udara sekitar yang digunakan untuk mengetahui keadaan sekitar lokasi pengambilan data.

g. Payung

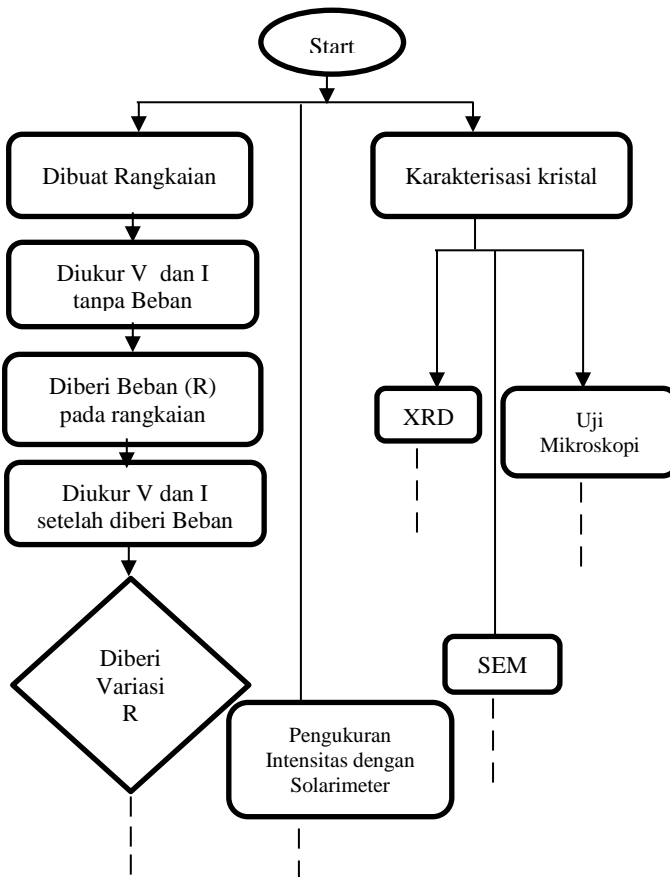
Payung digunakan untuk melindungi peralatan dari terik matahari agar tidak terjadi kerusakan.

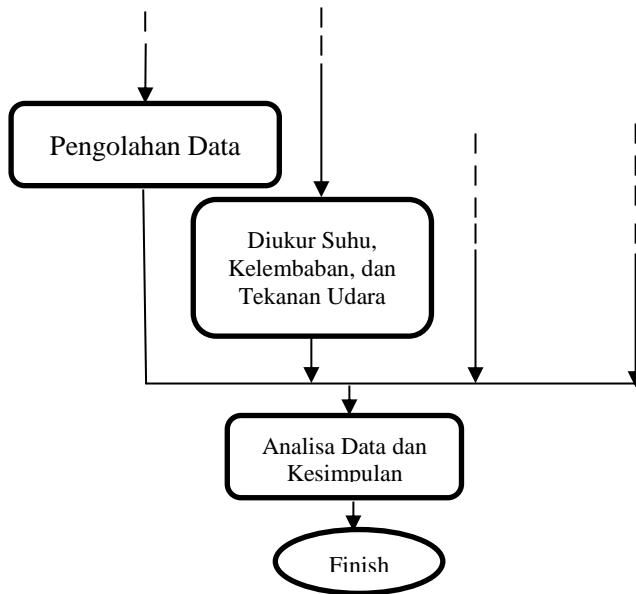
h. Kristal Sel Surya yang Dikarakterisasi

Merupakan kristal yang dikarakterisasi dengan uji XRD, SEM, dan Mikroskopik untuk mengetahui struktur material penyusun panel surya tipe monokristalin ini.

3.2 Diagram Alir Percobaan

Secara garis besar penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir sesuai Gambar 3.1.



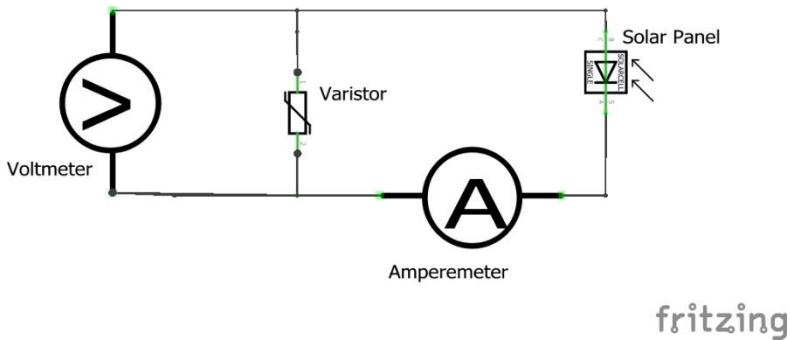


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Secara garis besar, penelitian ini mengikuti alur pada diagram alir Gambar 3.1. Deskripsi diagram alir penelitian dapat dijelaskan secara lebih detail sebagai berikut.

1.) Rangkaian

Dibuat sebuah rangkaian yang berperan dalam proses pengambilan data tegangan dan arus baik saat diberi hambatan maupun dengan hambatan yang nantinya digunakan dalam perhitungan efisiensi. Rangkaian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Rangkaian Alat

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa sel surya dihubungkan dengan *Amperemeter* dan parallel dengan hambatan geser dan *Voltmeter*.

2.) Pengukuran V dan I

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran arus dan tegangan tanpa diberi hambatan dengan menggunakan *Multimeter* yang digunakan untuk menghitung *Fill Factor* dan sebagai nilai pembanding dari daya input yang diukur dengan solarimeter. Kemudian rangkaian diberi hambatan geser dengan *range* nilai hambatannya 1Ω sampai 1000Ω . Dan selanjutnya diukur nilai arus dan tegangan yang dihasilkan. Setiap variasi waktu pengambilan data dilakukan setidaknya lebih dari sepuluh kali karena untuk mendapat data yang lebih akurat dan kurva I-V yang diperoleh lebih jelas dan mudah dibaca.

3.) Pengukuran Intensitas Matahari

Tahapan ini dilakukan pengukuran intensitas cahaya matahari dengan menggunakan solarimeter dalam satuan W/m^2 .

Pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan pengukuran arus dan tegangan. Variasi waktu pengambilan data adalah dari jam 08.00 WIB hingga 16.00 WIB dengan pengambilan dilakukan tiap jam. Dan variasi keadaan saat pengambilan data adalah dua keadaan yaitu saat keadaan cerah dan keadaan mendung. Saat keadaan mendung ini benar-benar tidak ada sinar matahari yang terlihat namun intensitas beserta arus dan tegangan masih dapat diukur dan sesuai.

4.) Pengukuran Suhu, Tekanan, dan Kelembaban Udara

Pada tahap ini dilakukan pengukuran Suhu dalam satuan ($^{\circ}\text{C}$), Tekanan dalam satuan mb/hpPa, dan Kelembaban udara dalam satuan (%). Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui keadaan lingkungan ketika pengambilan data dan apakah keadaan ini berpengaruh terhadap data yang didapat atau tidak.

5.) Karakterisasi Material

Pada tahapan ini akan dijelaskan mengenai proses karakterisasi material yang bertujuan untuk mengetahui struktur dan komponen penyusun material panel surya yang digunakan yaitu panel surya tipe monokristalin. Karakterisasi yang dilakukan ada tiga yaitu XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan OM (*Optical Microscopy*) yang masing-masing dilakukan pada panel surya yang sama.

a. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian menggunakan XRD (*X Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengetahui fasa dari material yang diteliti, yaitu panel surya tipe monokristalin. Alat uji XRD tampak seperti gambar berikut ini :



Gambar 3.3 Alat Uji XRD

Gambar 3.3 merupakan alat uji XRD yang mana dalam penelitian ini parameter yang digunakan adalah sudut panjang yaitu 2θ dan intensitas.

b. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Uji SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari material penyusun panel surya yang digunakan dalam penelitian ini dan juga ukuran kristal penyusunnya. Bentuk dari alat SEM adalah seperti berikut :

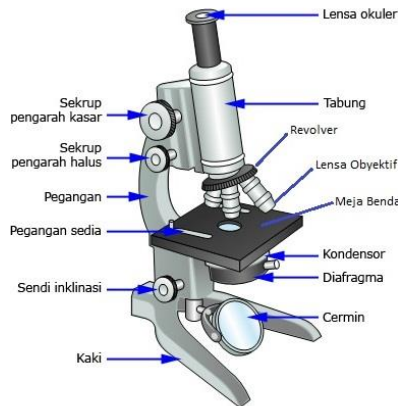


Gambar 3.4 Alat Uji SEM

Gambar 3.4 adalah gambar dari alat uji SEM dengan hasil yang diperoleh dalam bentuk 2 dimensi. Dalam penelitian ini, perbesaran yang dipakai adalah 53x, 500x, 522x, 1000x, 1500x, 2000x, 2540x, dan 3000x.

b. Mikroskopi

Untuk uji Mikroskopi sebenarnya tujuannya hampir sama seperti uji SEM yaitu untuk mengetahui morfologi dan ukuran struktur material penyusun panel surya tipe monokristalin ini. Alatnya seperti gambar berikut :



Pustekkom Depdiknas © 2009

Gambar 3.5 Alat Uji Mikroskopi

Gambar 3.5 merupakan bentuk dari mikroskop optik yang dapat mengetahui ukuran material penyusun kristal panel surya tipe monokristalin hingga ukuran micrometer. Perbesaran yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x, dan 2500x. Dari hasil uji ini dapat dibandingkan dengan

hasil uji SEM, nantinya dapat diketahui apakah cocok atau tidak yang akan dibahas pada BAB IV.

6.) Pengolahan Data dan Perhitungan

Dari data yang telah diperoleh berupa nilai arus dan tegangan baik dengan ataupun tanpa hambatan dalam rangkaiannya dilakukan suatu perhitungan untuk mendapatkan efisiensi cahaya yang diterima oleh sel surya yang digunakan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (3.1)$$

$$\eta = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{input}} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$= \frac{V_m \times I_m}{Intensitas \times A} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana :

$FF = Fill Factor$

$I_m =$ Arus maksimum (A)

$V_m =$ Tegangan maksimum (V)

$I_{sc} =$ Arus saat rangkaian tanpa hambatan (A)

$V_{oc} =$ Tegangan saat rangkaian tanpa hambatan (Volt)

$P_{input} =$ Daya input yang masuk ke sel surya (Watt)

Intensitas = Intensitas cahaya matahari (W/m^2)

$A =$ Luas sel surya (m^2)

7.) Analisis Data dan Pengambilan Kesimpulan

Pada tahap ini dapat dilakukan setelah pengambilan data dan perhitungan telah selesai dilakukan. Analisis data berisi mengenai semua ulasan tentang percobaan yang telah dilakukan

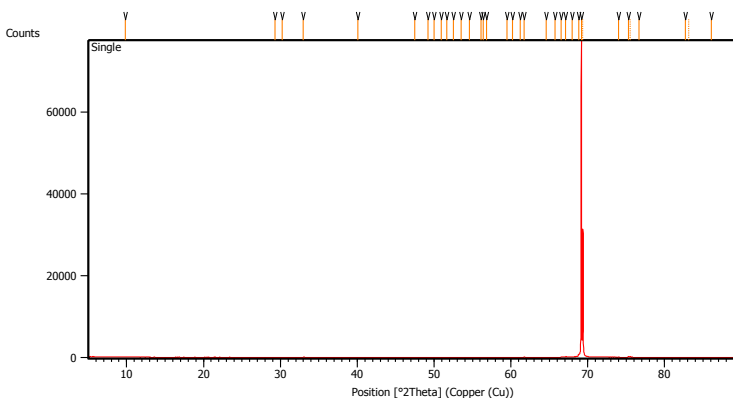
oleh penulis. Tentang data dan hasil yang dilakukan, faktor yang mempengaruhi data dan proses pengambilan data, dan apakah data itu sudah baik dan sesuai dengan teori apakah belum, lalu mengapa data diperoleh bisa seperti itu hingga kendala-kendala yang dialami selama pengambilan data. Baru setelah itu diambil kesimpulan dari data yang diperoleh. Kesimpulan ini berkaitan dengan tujuan dilakukannya penelitian ini.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Material dengan XRD (*X Ray Diffraction*)

Karakterisasi material yang pertama dilakukan adalah dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) yang digunakan untuk mengetahui fasa kristalin dari material penyusun panel surya tipe monokristalin yang digunakan dalam penelitian kali ini. Sudut yang digunakan adalah sudut panjang yaitu 2θ . Hasil dari uji XRD ditunjukkan seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik XRD

Gambar 4.1 merupakan gambar yang menunjukkan munculnya *peak* atau puncak fasa dari material penyusun. Sumbu vertikal merupakan intensitas dan sumbu horizontal merupakan sudut pengujian. Dari hasil pengujian ini, tampak bahwa *peak* yang muncul hanya satu buah yaitu pada sudut 69° . Hal ini sesuai dengan tipe sampel yang diuji yaitu monokristalin yang mana hanya mempunyai satu buah puncak atau *peak* atau juga bisa beberapa puncak namun masih dalam satu keluarga. Setelah diperoleh hasil pengujian, maka dilakukan pengolahan data dengan menggunakan *software Match* dan *Rietica*. Namun, saat

pengolahan data, *software* yang digunakan tidak dapat mengidentifikasi data tersebut. Maka dari itu dilakukan dengan cara lain untuk dapat mengetahui fasa dan material penyusun dari sampel yang digunakan yaitu dengan cara mencocokkan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan para peneliti sebelumnya, yaitu Ozaki dkk pada tahun 2005 hasil uji XRD material tersebut diketahui bahwa material penyusun panel surya yang digunakan dalam penelitian ini merupakan material Silikon murni dengan fasa kristalin.

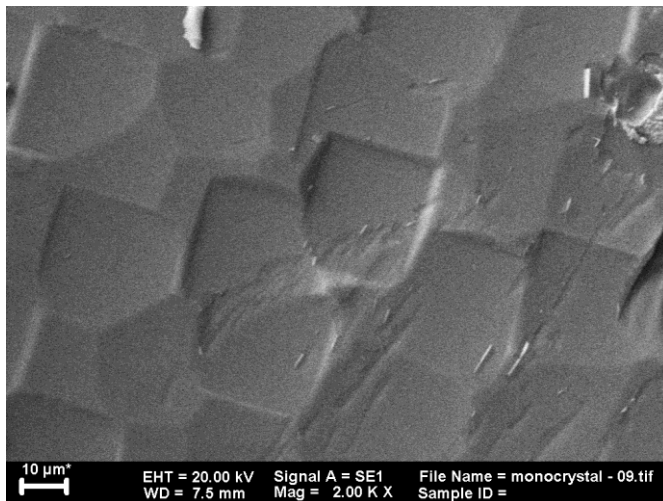
. Sehingga dapat dikatakan bahwa material penyusun sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah material Semikonduktor intrinsik yaitu material Semikonduktor murni yang masih belum ada pengotor atau tidak didoping dengan material lain sebagai penyusunnya. Semikonduktor jenis ini, pembawa muatannya adalah *hole* atau lubang dan elektron sekaligus. Ini yang membedakan dengan Semikonduktor ekstrinsik yang mana pembawa muatannya adalah elektron saja atau hole saja.

4.2 Analisis Hasil Uji Mikroskopi dan SEM



Gambar 4.2 Hasil Uji Mikroskopik dengan perbesaran 1000x

Berdasarkan Gambar 4.2 yaitu hasil uji mikroskopik pada sampel yang bertujuan untuk mengetahui morfologi dan bentuk kristal penyusun sampel yang digunakan. Pada gambar tersebut perbesaran yang digunakan adalah 1000x yang berarti ukuran kristal penyusun sesungguhnya diperbesar hingga 1000x hingga menghasilkan gambaran seperti gambar diatas dan skala garis putih di pojok kanan bawah sebesar 10 μm . Apabila perbesaran terlalu kecil, maka kristal akan terlihat kurang jelas sehingga sulit untuk mengidentifikasi morfologinya baik bentuk struktur maupun ukurannya. Hasilnya terlihat dengan jelas bahwa kristal penyusunnya adalah kristal tunggal. Hal ini berdasarkan sifat dari kristal jenis monokristalin yaitu struktur kristal penyusunnya tersusun atas kristal tunggal yang tersusun secara rapi dan teratur antara satu kristal penyusun dengan kristal penyusun lainnya. Dari gambar tersebut, ukuran satu kristal penyusun adalah 28,6 μm x 28,6 μm . Hal ini berarti luasan satu buah kristal penyusun adalah 817,96 μm^2 .



Gambar 4.3 Hasil Uji SEM dengan perbesaran 2000x

Gambar 4.3 merupakan tampak permukaan sampel hasil uji SEM (*Scanning Elektron Microscopy*) yang dapat diketahui morfologi dan ukuran kristal penyusun material. Terlihat sesuai gambar bahwa kristal penyusun material panel surya tipe monokristalin ini berbentuk kubik yang tersusun teratur rapi antara satu kristal dengan kristal lainnya. Ukuran untuk satu kristal monokristalin sesuai gambar diatas adalah $28,6\text{ }\mu\text{m} \times 28,6\text{ }\mu\text{m}$. Bentuk dari kristal penyusun panel surya tipe mono kristalin sangat berbeda dengan tipe polikristalin. Dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perbedaan Monokristalin dan Polikristalin

Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan secara signifikan antara kristal monokristalin dengan kristal polikristalin berdasarkan hasil uji Mikroskopik dengan perbesaran yang sama yaitu 1000x. Dalam gambar tersebut, bagian yang kanan merupakan gambar dari kristal polikristalin yang mana terlihat bentuk kristalnya tidak beraturan, ukuran satu kristal dengan yang lainnya berbeda-beda namun rata-rata berukuran $10\mu\text{m}$, dan susunan antara satu kristal dengan kristal lain tersusun secara acak dan tidak beraturan. Untuk kerapatan polikristal lebih rendah daripada monokristal. Bahkan sulit untuk mengetahui ukuran tiap kristalnya. Disinilah perbedaan utama struktur material penyusun

panel surya jenis monokristalin dengan polikristalin yang mana untuk tipe monokristalin sudah dibahas pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3. Partikel silikon mempunyai peran yang berbeda-beda untuk masing-masing produk yang dihasilkan, dimana kualitas produk ditentukan dari ukuran dan distribusi partikel silikon itu sendiri didalam sistemnya (Zawrah, 2009).

Kemudian dari segi bentuk fisik, panel surya tipe monokristalin juga berbeda dengan panel surya tipe polikristalin :

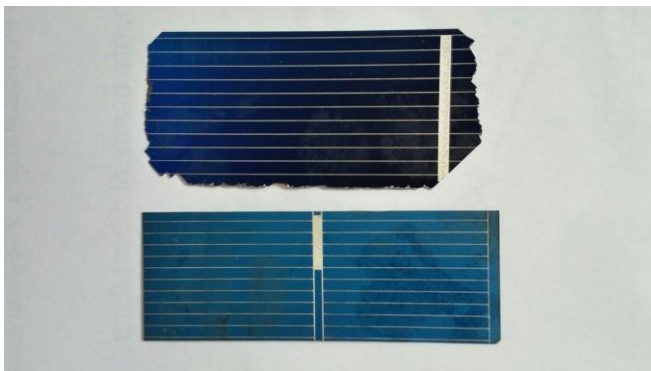


Gambar 4.5 Panel Surya Monokristalin



Gambar 4.6 Panel Surya Polikristalin

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 merupakan penampakan secara fisik dari panel surya tipe monokristalin dan polikristalin. Dari segi warna, monokristalin lebih gelap dibandingkan polikristalin karena material penyusunnya hanya Silikon murni. Untuk dari segi biaya pembuatan, monokristalin lebih mahal karena dibuat secara perlahan-lahan dengan menarik benih kristal silikon dari lelehan monokristalin dan diputar-putar perlahan dengan suhu yang diturunkan secara perlahan hingga suhu konstan sehingga terbentuk keping panel surya tipe monokristalin dengan bentuk segidelapan dan susunan kristal yang terbentuk seragam. Sedangkan untuk polikristalin hanya dibuat melalui metode sederhana yaitu tidak melalui proses yang lambat namun silikon cair dimasukkan kedalam gips dan didinginkan dengan benih kristal. Dengan menggunakan metode pengecoran, maka sekeliling benih kristal tidak seragam dan cabang ke banyak kristal yang lebih kecil. Kemudian gambar tersebut diperbesar hingga menunjukkan grid pada permukaan dengan jelas, sesuai Gambar 4.7.



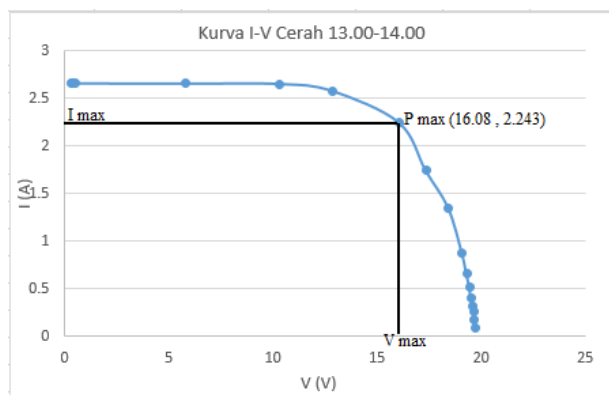
Gambar 4.7 Perbedaan grid monokristal dan polikristal

Untuk *grid* atau garis-garis pada permukaan panel surya dibuat sebagai media berkumpulnya elektron sehingga terjadi aliran elektron dan *hole* dan menghasilkan arus listrik. Garis-garis tersebut dibuat tidak terlalu banyak dan tidak terlalu besar karena

jika garis atau *grid* terlalu besar akan mengurangi luas permukaan yang menyerap energi cahaya matahari. Baik tipe monokristalin maupun polikristalin merupakan semikonduktor p-n *junction* sehingga yang bagian bawah merupakan p tempat berkumpulnya *hole* dan yang bagian atas merupakan n tempat berkumpulnya elektron. Seperti Gambar 4.7 terlihat bahwa terdapat perbedaan yang jelas antara panel monokristal dengan polikristal. Untuk monokristal warna panel lebih gelap dengan jarak antar grid pada permukaan panel sebesar 1,5 mm. Sedangkan untuk polikristal mempunyai warna yang lebih cerah dengan jarak antar grid pada permukaan sebesar 1mm. Sehingga dapat diketahui bahwa kemampuan penyerapan intensitas cahaya matahari lebih besar monokristal dibandingkan dengan polikristal sesuai dengan perbedaan tersebut.

4.3 Data Hasil Pengukuran

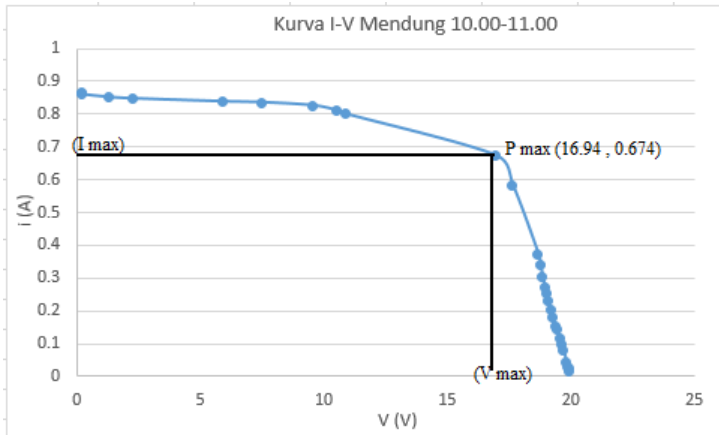
Pada penelitian ini data yang didapat adalah nilai arus dan tegangan dengan variasi yang telah disebutkan pada bab III, suhu, tekanan, dan kelembaban udara pada saat pengambilan data (Data terlampir). Yang mana dari data tersebut dapat dibuat kurva I-V yaitu kurva yang menyatakan hubungan antara arus dan tegangan output, sebagai berikut :



Gambar 4.8 Kurva I-V Cerah

Gambar 4.8 menunjukkan salah satu grafik tegangan dan arus output dari solar sel saat cuaca cerah dengan V_{oc} (tegangan saat rangkaian tidak diberi beban) sebesar 21,56V dan I_{sc} (nilai arus saat rangkaian tidak diberi beban) adalah 2,683 A. Terbentuknya grafik ini dengan pemberian variasi hambatan pada rangkaian yang nilainya antara 0Ω hingga 1000Ω . Ketika diberi hambatan minimum, maka nilai arus akan maksimum sedangkan nilai tegangan kecil.

Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai arus maksimum dan tegangan maksimum yang diperoleh nilai arus dan tegangan output sesuai dengan variasi hambatan yang diberikan sehingga dapat dihitung nilai *fill factor* yaitu berapa besarnya energi cahaya matahari yang mampu diserap oleh sel surya dengan intensitas cahaya yang paling besar saat pengukuran. Yang mana saat ditarik garis vertikal dan horizontal dari titik arus dan tegangan maksimum menunjukkan daerah tersebut merupakan daerah *fill factor*. Besarnya *fill factor* pada gambar tersebut adalah 0,62 atau 62%, yang berarti pada saat pengambilan data, kemampuan penyerapan energi cahaya matahari oleh panel surya sebesar 62% dengan rata-rata nilai intensitas cahaya matahari sebesar $1,441059 \text{ W/m}^2$. Besarnya nilai *fill factor* sebanding dengan luas daerah dalam garis hitam pada Gambar 4.7, semakin besar luasannya maka semakin besar nilai *fill factor*. Pada Gambar 4.8 nilai arus dan tegangan maksimum berturut-turut adalah 2,243 A dan 16,08 V, maka daya output maksimum yang dihasilkan oleh panel surya saat keadaan ini sebesar 36,07 Watt. Sedangkan nilai efisiensi dari grafik pada Gambar 4.8 adalah sebesar 13,5% dengan menggunakan persamaan (4).

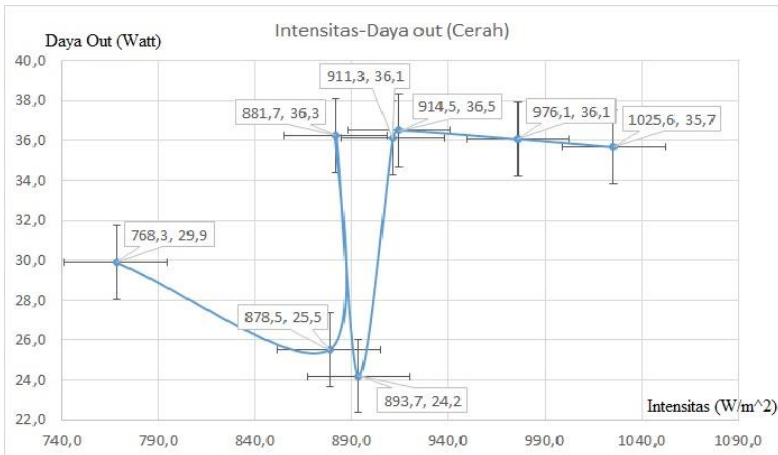


Gambar 4.9 Kurva I-V Mendung

Begitu juga dengan Gambar 4.9, perlakuan dan variasi yang diberikan sama seperti Gambar 4.8 hanya saja berbeda keadaan saat pengambilan data yaitu dilakukan saat cuaca mendung, bahwa daerah persegi panjang yang terbentuk dari penarikan garis vertikal dan horizontal dari titik V_{\max} dan I_{\max} merupakan daerah *fill factor*. Untuk menghitung nilai *fill factor* menggunakan persamaan (2). Nilai *fill factor* yang besar menunjukkan bahwa cahaya matahari yang terserap oleh panel surya semakin banyak sehingga efisiensi yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Dari kedua gambar terlihat jelas perbedaan hasil yang diperoleh bahwa saat cuaca cerah arus yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan saat cuaca mendung dengan tegangan yang hampir sama. Sehingga luas *fill factor* lebih besar saat cuaca cerah daripada saat cuaca mendung. Nilai *fill factor* dari gambar diatas adalah 0,654 atau 65,4% sehingga kemampuan penyerapan energi cahaya matahari oleh panel surya pada keadaan ini sebanyak 65,4%. sedangkan nilai arus output dan tegangan output berturut-turut sebesar 0,674A dan 16,94V. Kemudian dapat diketahui bahwa nilai daya output maksimum dari gambar diatas sebesar 11,42 Watt. Dan nilai efisiensinya adalah 18,93%.

Efisiensi diperoleh menggunakan Persamaan (4) yang mana daya input diperoleh dari perkalian antara rata-rata Intensitas (W/m^2) dengan luas panel surya yang digunakan yaitu $0,2734 \text{ m}^2$. Saat cuaca cerah diperoleh efisiensi yang kurang dari 15% dan saat mendung efisiensinya justru mencapai 20% lebih. Nilai efisiensi ini ada kaitannya dengan *fill factor* karena keduanya berhubungan dengan kemampuan penyerapan energi cahaya matahari pada setiap keadaan pengambilan data.

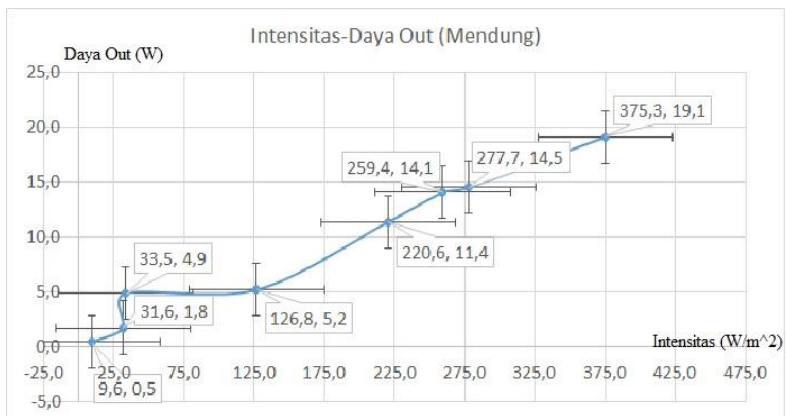
Kemudian dibuat grafik hubungan antara intensitas dengan daya output saat kondisi cuaca cerah mendung.



Gambar 4.10 Grafik antara Intensitas dengan Daya Output saat Cerah

Gambar 4.10 menunjukkan grafik hubungan antara intensitas cahaya matahari dengan daya output yang dihasilkan solar sel pada saat cuaca cerah. Terlihat gambar diatas tidak linear karena memang daya output dari solar sel dipengaruhi intensitas, akan tetapi ada faktor lain yang juga mempengaruhinya yaitu suhu permukaan panel. Saat suhu mendekati temperatur kamar maka sel surya akan menghasilkan tegangan output turun dengan arus yang semakin naik. Namun saat suhu pada permukaan sel surya terlalu tinggi maka tegangan output semakin turun dan

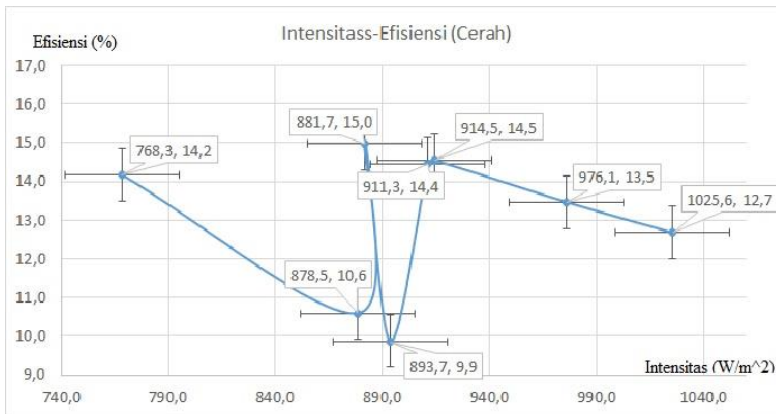
arus tetap sehingga daya output semakin kecil sehingga ini bergantung juga pada suhu permukaan sel surya (Muhammad, Yohnna, 2016). Sehingga terjadinya penurunan daya output yang sangat signifikan meskipun intensitas cahaya matahari naik yaitu pada saat efisiensi 893,7 W/m² daya output sebesar 24,2 W ini karena suhu permukaan sel surya terlalu tinggi maka tegangan output turun namun arus tetap sehingga daya output yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan saat suhu mendekati suhu kamar.



Gambar 4.11 Grafik antara Intensitas dengan Daya Output saat Mendung

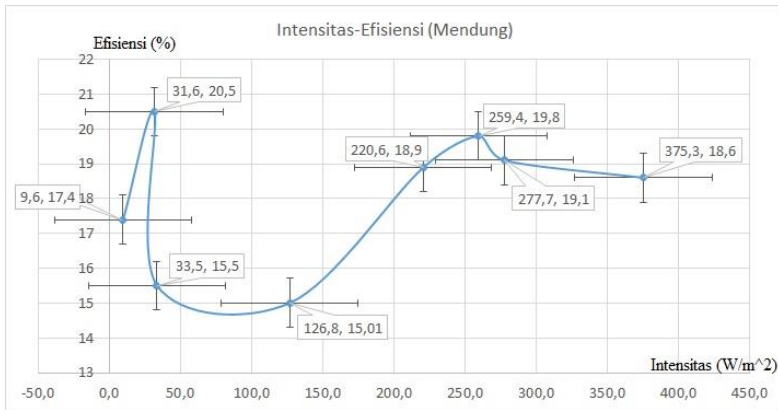
Gambar 4.11 merupakan grafik antara intensitas dengan daya output saat mendung. Terlihat bahwa saat cuaca mendung, semakin meningkatnya intensitas cahaya matahari, daya output yang dihasilkan meningkat juga. Hal ini karena pada saat cuaca mendung, suhu permukaan sel surya mendekati suhu kamar sehingga nilai tegangan turun dan arus semakin naik. Sehingga saat intensitas meningkat maka daya output yang dihasilkan juga akan meningkat seperti Gambar 4.11.

Setelah itu, dibuat juga grafik hubungan antara intensitas dengan efisiensi saat cuaca cerah dan mendung.



Gambar 4.12 Grafik Antara Intensitas dan Efisiensi saat Cerah

Gambar 4.12 memperlihatkan hubungan antara intensitas cahaya matahari dengan efisiensi yang dihasilkan sel surya saat cuaca cerah. Terlihat bahwa grafik tidak beraturan yaitu tidak setiap kenaikan intensitas menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan sebaliknya. Hal ini karena efisiensi ada hubungannya dengan daya output (yang sudah dijelaskan pada penjelasan Gambar 4.10). Pada saat intensitas cahaya matahari sebesar 893,7 W/m^2 efisiensi yang dihasilkan justru rendah yaitu 9,9% padahal intensitas mengalami kenaikan daripada sebelumnya. Hal ini terjadi karena pada saat pengambilan data tersebut, suhu permukaan solar sel terlalu tinggi (jauh diatas suhu kamar) sehingga daya tegangan output turun dengan arus tetap tidak mengalami kenaikan. Sehingga efisiensi yang dihasilkan lebih rendah karena efisiensi tinggi.



Gambar 4.13 Grafik Antara Intensitas dan Efisiensi saat Mendung

Gambar 4.13 merupakan grafik hubungan antara intensitas cahaya matahari dengan efisiensi yang dihasilkan sel surya pada saat cuaca mendung. Pada saat cuaca mendung, suhu cenderung stabil sekitar suhu kamar. Sehingga tegangan turun dengan arus yang meningkat. Nilai efisiensi dipengaruhi oleh daya output dan intensitas cahaya matahari. Ketika daya output menurun dan intensitas tinggi maka efisiensi rendah. Dan efisiensi akan tinggi saat daya output besar dengan intensitas yang rendah. Sehingga grafik terlihat naik turun karena intensitas cahaya matahari saat pengambilan data tidak konstan begitu juga dengan suhu permukaan sel surya sehingga wajar apabila efisiensi yang dihasilkan berbeda-beda.

Selain data-data diatas, data lain yang diambil saat pengukuran yaitu, suhu, tekanan, dan kelembaban udara. Rata-rata nilai ketiganya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Parameter Keadaan saat Pengambilan Data Cerah

Waktu/Keadaan	T (°C)	P (mb/hpPa)	K (%)
08.00-09.00	35,3	1014,9	53,0
09.00-10.00	34,6	1015,4	51,9
10.00-11.00	33,8	1014,5	53,1

11.00-12.00	32,9	1015,9	55,5
12.00-13.00	35,4	1011,3	42,8
13.00-14.00	31,3	1023,5	54,4
14.00-15.00	38,9	1001,0	40,5
15.00-16.00	33,8	1016,3	50,4

Tabel 4.2 Parameter Keadaan saat Pengambilan Data Mendung

Waktu/Keadaan	T (°C)	P(mb/hpPa)	K(%)
08.00-09.00	35,5	1020,3	43,6
09.00-10.00	32,3	1024,7	51
10.00-11.00	35,4	1013,7	47,3
11.00-12.00	28,2	1025,5	56,6
12.00-13.00	31,5	1019,5	55,5
13.00-14.00	26,8	1028,4	60,9
14.00-15.00	32,4	1016,6	53,4
15.00-16.00	33,1	1013,1	52,2

Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 merupakan parameter keadaan lingkungan saat proses pengambilan data sesuai dengan waktu yang telah ditentukan yang berupa, suhu (°C), tekanan (mb/hpPa) yaitu milibar hector Pascal, dan kelembaban udara (%). Suhu rata-rata saat pengambilan data cerah sebesar 34,5° C, sedangkan saat pengambilan data mendung sebesar 31,9° C. Hal ini berarti saat cuaca cerah suhu udara sekitar lokasi pengambilan data meningkat dan saat cuaca mendung suhunya ikut menurun. Keadaan naik turunnya suhu udara ini bisa dikatakan sebanding dengan tinggi rendahnya nilai intensitas cahaya matahari. Ketika cuaca cerah, langit tidak tertutup awan sehingga cahaya matahari yang sampai ke bumi maksimal. Karena cahaya matahari bersifat panas, maka mempengaruhi suhu lingkungan menjadi naik. Begitu sebaliknya saat cuaca mendung, langit banyak tertutup

awan sehingga panas matahari yang sampai ke permukaan bumi sedikit dan suhu bumi menurun (rendah).

Kemudian untuk nilai rata-rata tekanan udara ketika cuaca cerah 1014,1 mb/hPa yang mana nilai tersebut lebih kecil dari pada saat cuaca mendung yaitu sebesar 1020,24 mb/hPa. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai suhu. Begitu juga dengan nilai kelembaban udara sebanding dengan tekanan udara. Pada saat cuaca cerah nilai kelembaban udara lebih kecil daripada saat mendung. Saat cuaca cerah, rata-rata nilai kelembaban udara sekitar lokasi pengambilan data adalah 50,2% dan saat cuaca mendung nilai kelembaban udaranya senilai 52,6%. Secara logika fluida cair yang terkandung didalam udara saat cuaca cerah menguap karena terkena pancaran sinar matahari sehingga kandungan air dalam udara semakin kecil. Sebaliknya, saat cuaca mendung cahaya matahari yang menyinari semakin rendah sehingga kandungan air dalam udara besar menyebabkan udara bersifat lembab. Analogi sederhananya dapat kita jumpai ketika malam hari, udara disekitar kita terasa lembab karena di malam hari tidak ada cahaya matahari yang menyinari lingkungan. Akan tetapi saat siang hari terutama saat terik, udara disekitar terasa kering karena air yang ada pada udara sekitar menguap akibat cahaya matahari yang bersinar. Antara ketiga parameter, yaitu suhu udara, tekanan udara, dan kelembaban udara memang ada kaitannya dengan intensitas cahaya matahari yang menyinari bumi, namun sama sekali tidak mempengaruhi nilai intensitas.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengambilan data, pengolahan data, analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Pada lokasi $7^{\circ} 17' 03.8''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ} 47' 39.8''$ Bujur Timur pada minggu ketiga Oktober hingga minggu keempat Nopember 2016 ketika cuaca cerah intensitas cahaya matahari bernilai tinggi lebih dari 1000 W/m^2 yaitu pada pukul 11.00-12.00 WIB dan pada saat cuaca mendung intensitas cahaya matahari turun dibawah 610 W/m^2 pada pukul 08.00-16.00 WIB.
2. Efisiensi sel surya monokristalin maksimal ketika cuaca mendung yaitu mencapai 20,5% dan efisiensi bernilai rendah saat cuaca cerah yaitu nilai terendahnya 10,5%.
3. Material penyusun sel surya tersebut adalah Silikon murni berbentuk persegi dengan tipe kristal monokristalin yang tersusun rapi dan teratur dengan ukuran tiap kristal $28,6 \mu\text{m} \times 28,6 \mu\text{m}$.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik lagi, penulis menyarankan bahwa untuk penelitian-penelitian kedepan perlu dikaukan pengukuran konduktivitas material untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap sifat konduktivitas material dan juga ditambahkan variasi lokasi pengambilan data untuk mendapatkan data yang lebih umum tidak terpaku pada lokasi tertentu namun secara keseluruhan. Serta dibandingkan dengan hasil pengukuran panel surya tipe polikristalin agar dapat mengetahui pemakaian untuk tiap daerah karena setiap daerah di dunia ini mempunyai cuaca yang tidak sama.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ady Iswanto. 2008. Staf Divisi Riset 102FM ITB.
- Afifudin, Fasluckey dan Farid Samsu Hananto. 2012. *Optimalisasi tegangan Keluaran dari Solar cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari*. Malang, Jurnal Neutrino.
- Avella, M. e. (2009). *Eco-challenges of Biobased Polymer Composites*. Materials, 2, 911-925.
- Chotimah, Kuwat triyana, dan K. Indria. 2012. *Efek Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi Konversi Daya Sel Surya Organik Bulk Heterojunction Berbasis Poly (3 hexylthiophene) dan Rhenyl Butyric Acid Melthylester*. FMIPA UGM.
- Chander, Subhash, et al. (2015). *A Study on Photovoltaic Parameters of Monocrystalline Silicon Solar Cell with Cell temperature*. United Kingdom, ELSEVIER.
dynamicrouting.blogspot.com
Elektronika-dasar.web.id
energisurya.wordpress.com
- Hansen, Anca D dkk. 1994. *Model fo a Stand Alone PV System*. Spain : Artes Graficas Gala, S.L
- Hersch, Paul dan Kenneth Zweibel. 1982. *Photovoltaic Principles and Methods*. Washington DC, US. Goverenment Printing Office, Hal 17-19.
<http://digilib.mercubuana.ac.id/>
<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a474503.pdf> (25 Juni 2013).
<http://energisurya.files.wordpress.com>.
<http://trebuchet-magazine.com/wpcontent/uploads/2013/02/solar-cell.jpg>
id.alexpress.com
Indonesian.alibaba.com
- Kittel, C. 1996. *Introduction to Solid State*. Physics, John Wiley & Sons, Inc, Canada.
- Malvino. 1986. *Prinsip-prinsip Elektronika, Jilid I, Edisi Ketiga*. Erlagga. Jakarta.

- Green MA., Emery K, King DL, Hisikawa Y, Warta W, 2006. *Solar Cell Efficiency Tables (Version 27), Progress Photovoltaic : Research and Applications*, 2006;14:45-51.
- Pahlevi, R. 2014. *Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya*. Universitas Muhammadiyah. Surakarta.
- Pratama, D.H. 2007. *Fotovoltaik (Photo Cell) Tembaga Oksida dalam Larutan Garam-Garam Anorganik Menggunakan Sinar Polikromatik (Lampu Merkuri)*. Skripsi, FMIPA Unand, Padang.
- Purnama Sari, Ajeng. 2014. *Pengukuran Karakteristik Sel Surya*. Bandung. UIN Sunan Gunung Djati.
- PV Education. <http://www.PVEducation.org>. *Efficiency*. *sanfordlegenda.blogspot.com*.
- Sander, MH. 2007. *Modeling of Operating teperatur Performance of Triple Junction Solar Cell Using Silvaco's ATAS*. [Tesis yang tida dipublikasikan, Naval Postgraduate School, California].
- Septiadi, dkk. 2009. *Proyeksi Potensi Energi Surya sebagai Energi Terbarukan (Study Wilayah Ambon dan Sekitarnya)*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Vol.10 Noo 1. Juli 2009. BMKG, Jakarta
- Shen, L. W. (2010). *Present and Future Development in Plastic from Biomass*. Biofuel, Bioprod. Bioref., 4,25-40.
- Zawrah, M.F. EL-Kheshen. 2009. *Facile And Economic Synthesis of Silica Nanoparticles*. J Ovonic Research, Vol. 5, hal 129-133

LAMPIRAN A

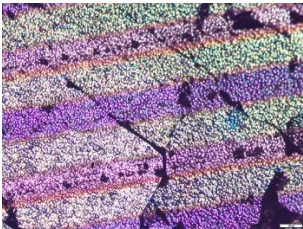
Hasil Uji XRD

Peak List

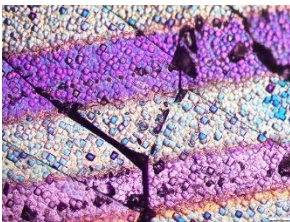
Pos, [°2Th,]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th,]	d-spacing [Å]	Rel, Int, [%]
9,8091	2,99	0,1004	9,01718	0,00
29,3117	8,12	0,2007	3,04703	0,01
30,2248	17,67	0,1004	2,95703	0,02
32,9952	117,96	0,0502	2,71480	0,15
40,0480	10,30	0,5353	2,25148	0,01
47,4769	6,50	0,5353	1,91508	0,01
49,2442	9,17	0,2676	1,85040	0,01
49,9668	10,72	0,2007	1,82533	0,01
50,9211	4,40	0,3346	1,79334	0,01
51,6740	9,82	0,3346	1,76896	0,01
52,5480	12,61	0,2007	1,74158	0,02
53,5482	4,99	0,2676	1,71139	0,01
54,5811	20,24	0,1004	1,68142	0,03
56,0898	20,69	0,0816	1,63836	0,03
56,3737	33,10	0,0816	1,63079	0,04
56,7957	8,51	0,2007	1,62101	0,01
59,4555	7,87	0,3346	1,55469	0,01
60,1948	4,30	0,1673	1,53735	0,01
61,1927	29,33	0,0836	1,51465	0,04
61,7172	180,75	0,0816	1,50179	0,23
64,5834	9,93	0,1338	1,44308	0,01
65,7718	11,80	0,0816	1,41868	0,02
66,5198	92,55	0,1020	1,40453	0,12
67,1038	222,43	0,0816	1,39372	0,28
67,9378	100,32	0,0816	1,37863	0,13
68,8314	728,38	0,1020	1,36290	0,93
69,1626	78647,74	0,0816	1,35718	100,00
69,3614	32321,88	0,0612	1,35713	41,10
74,0175	8,54	0,1632	1,27970	0,01

75,2931	408,66	0,0612	1,26115	0,52
75,5067	179,39	0,0816	1,26124	0,23
76,6687	6,88	0,4896	1,24192	0,01
82,6636	10,40	0,1224	1,16638	0,01
83,0944	7,99	0,1020	1,16431	0,01
86,0775	3,37	0,2040	1,12865	0,00

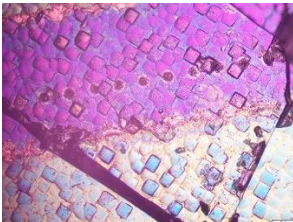
LAMPIRAN B
Hasil Uji Mikroskopi



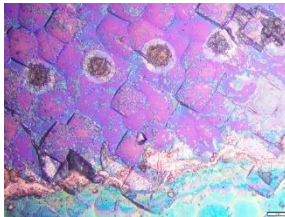
Gambar 1 Perbesaran 50x



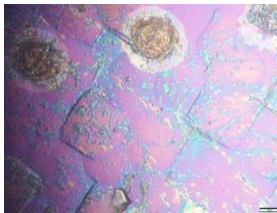
Gambar 2 perbesaran 100x



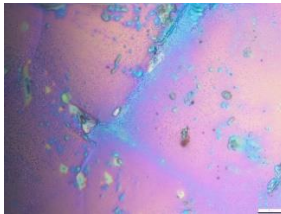
Gambar 3 Perbesaran 200x



Gambar 4 Perbesaran 500x

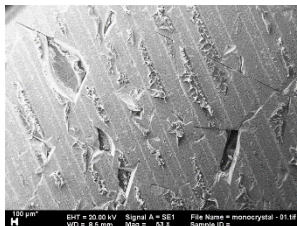


Gambar 5 Perbesaran 1000x

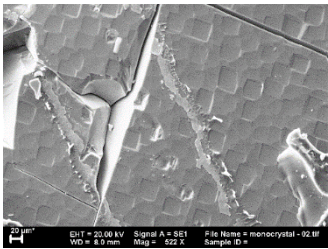


Gambar 6 Perbesaran 2500x

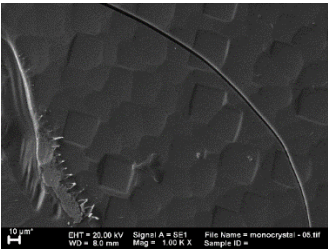
LAMPIRAN C HASIL UJI SEM



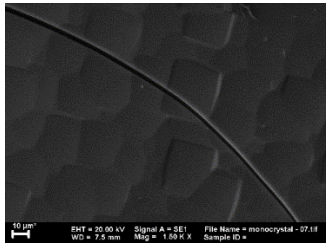
Gambar 7 Perbesaran 53x



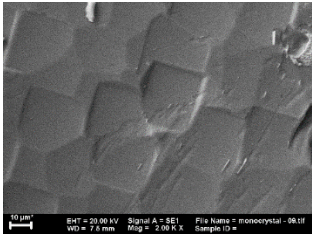
Gambar 8 Perbesaran 522x



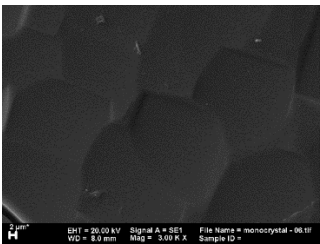
Gambar 9 Perbesaran 1000x



Gambar 10 Perbesaran 1500x



Gambar 11 Perbesaran 2000x



Gambar 12 Perbesaran 3000x

LAMPIRAN D
Hasil Pengukuran

1. x

Pukul	R(Ω)	I(A)	V(V)	Intensitas (W/m^2)	T (°C)	P	K(%)
8 sampai 9	0,1	2,182	0,366	714	32,7	1020,8	57
	0,3	2,16	0,404	851	34,9	1020,8	52
	1,9	2,059	2,16	780	35,7	1014,1	54
	4,2	2	7,75	780	35,7	1014,1	53
	8	1,99	13,34	776	35,7	1014,1	53
	9,2	1,907	15,67	770	35,6	1014,1	53
	9,7	1,815	16,21	774	35,6	1014,1	53
	11,5	1,65	17	772	35,6	1014,1	53
	13	1,405	17,63	747	35,4	1014,6	53
	13,9	1,481	17,47	757	35,5	1014,6	53
	15,8	0,877	18,17	540	34,4	1020,8	52
	22,3	0,821	18,27	555	35,7	1013,5	52
	40,7	0,463	18,93	504	35,6	1013,5	52

	44,5	0,435	19,31	678	35,5	1013,5	53
	49	0,388	19,51	630	35,5	1013,5	53
	62,5	0,314	19,56	750	35,5	1014,1	53
	81,1	0,245	19,75	790	35,5	1014,1	53
	113	0,176	19,85	800	35,4	1014,1	53
	131,6	0,152	19,88	819	35,4	1014,1	53
	217,8	0,092	19,89	835	35,4	1014,1	53
	529	0,039	19,92	807	35,5	1014,1	53
Voc	Isc	Vmax	I max	FF	A	Pin	Efisiensi (%)
21,05	1,885	15,67	1,907	0,753106	0,27432	201,5468	14,82667

2. Cerah Pukul 09.00-10.00

Pukul	R(Ω)	I(A)	V(V)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
09,00-10,00	1,1	0,447	2,568	875	34,7	1014,5	51
	1,9	1,685	2,56	886	34,7	1014,5	52
	2,8	3,616	2,552	870	34,7	1014,5	52
	3,1	4,81	2,543	867	34,7	1014,4	52
	3,6	7,41	2,586	896	34,7	1014,4	53
	6,8	15,57	2,329	914	34,7	1014	53
	8,9	16,59	2,02	915	34,7	1014	52
	11,3	17,16	1,736	908	34,7	1014	52
	13,3	17,54	1,508	889	34,7	1014	52
	14,7	17,73	1,409	906	34,7	1014	52
	28,5	18,98	0,76	868	34,3	1022,5	53
	37,5	19,15	0,557	859	34,6	1022,5	52
	45,3	19,26	0,446	879	34,7	1022,5	52
	55,6	19,3	0,355	875	34,8	1014,3	52
	79	19,43	0,248	855	34,7	1014,3	51

	101,5	19,45	0,192	885	34,6	1014,3	52
	118,6	19,46	0,165	880	34,6	1014,3	52
	130,3	19,52	0,15	856	34,6	1014,3	52
	139,3	19,59	0,141	890,1	34,5	1014,3	52
	161	19,58	0,121	876	34,5	1014,3	51
	140,4	19,59	0,081	880	34,4	1014,3	51
	397,3	19,6	0,049	869	34,4	1014,3	51
Voc	Isc	Vmax	I max	FF	A	Pin	Efisiensi (%)
20,03	2,411	15,57	2,329	0,750896	0,27432	241,8767	14,99216

3. Cerah Pukul 10.00-11.00

Pukul	R(Ω)	I(A)	V(V)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
10,00-11,00	0,2	0,3076	2,793	923,5	34,7	1014	52
	0,3	0,372	2,788	905	34,7	1013,8	52
	0,9	0,7	2,754	895	34,7	1013,8	52
	1,5	4,33	2,751	930	33,1	1015,1	53
	1,8	4,96	2,735	929	33,6	1015,1	53
	3,5	5,51	2,724	894	33,5	1015,1	54
	4,1	8,08	2,699	902	33,4	1015,1	54
	4,6	12,21	2,695	919	33,4	1015,1	54
	6,1	14,19	2,572	923	33,4	1015,1	54
	7,7	15,51	2,289	916	33,4	1015,1	54
	8,6	16,08	2,117	916	33,3	1015,1	54
	9	16,3	2,037	926	33,2	1015,1	54
	9,7	16,5	1,92	917	33,2	1015,1	54
	10,8	16,77	1,793	913	33,2	1015,1	54
	11,7	17,1	1,644	908	33,2	1015,1	54

	12,5	17,36	1,532	904	33,2	1015,1	54
	13,3	17,52	1,482	943	33,2	1015,1	54
	13,4	17,57	1,441	941	33,1	1015,1	54
	22,4	18,56	0,753	853	34,5	1013,8	52
	27,5	18,71	0,635	917	34,4	1013,8	52
	35,8	18,85	0,519	928	34,4	1013,8	52
	38	18,89	0,484	926	34,4	1013,8	52
	47	18,95	0,398	917	34,3	1013,8	52
	60	19,03	0,318	899	34,3	1013,8	53
	68,7	19,05	0,178	905	34,2	1013,8	53
	85,5	19,11	0,223	904	34,1	1013,8	53
	116	19,16	0,164	925	34,1	1013,8	53
	127,1	19,2	0,151	934	34,1	1013,8	53
	152,8	19,25	0,126	904	34	1013,8	52
	164,1	19,28	0,117	903	34	1013,8	52
	207,4	19,3	0,094	915	33,9	1015,1	53
	239,3	19,31	0,074	928	33,9	1015,1	53
Voc	Isc	Vmax	I max	FF	A	Pin	Efisiensi (%)
19,64	2,623	14,19	2,572	0,708457	0,27432	250,8528	14,54904

4. Cerah Pukul 11.00-12.00

Pukul	R(Ω)	V(V)	I(A)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
11,00-12,00	1064	0,457	3,145	958	33	1015,6	55
	966	10,07	2,855	950	32,9	1015,6	55
	882	11,16	2,852	960	32,8	1015,6	54
	816	13,52	2,741	979	32,8	1015,6	54
	721	14,99	2,513	979	32,8	1015,6	54
	660	15,86	2,249	1055	32,8	1015,6	54

	581	16,41	2,007	1007	32,8	1015,6	54
	516	17,15	1,606	1025	32,8	1015,6	54
	498	17,28	1,529	1028	32,7	1016,3	54
	406	17,42	1,454	1015	32,7	1016,3	54
	350	17,5	1,393	1004	32,7	1016,3	55
	298	18,4	0,622	1028	32,7	1016,3	55
	258	18,66	0,377	1020	32,7	1016,3	55
	189,8	18,77	0,241	1042	32,7	1016,3	55
	155,5	18,83	0,192	1044	32,7	1016,3	55
	129,1	18,91	0,147	1014	32,7	1016,3	55
	99,1	18,94	0,123	990,1	32,7	1016,3	56
	78,9	18,96	0,1	982,8	32,8	1016,3	55
	56,8	18,97	0,073	937	33,1	1016,3	54
	32,2	18,98	0,063	972,3	33,5	1016,3	54
	13,8	18,99	0,054	1000	33,7	1015,3	57
	13,5	19,01	0,046	997	33,7	1015,3	57
	12,5	19,04	0,038	997	33,6	1015,3	57
	11,7	19,06	0,036	974	33,6	1015,3	57
	9,1	19,07	0,033	998	33,5	1015,3	57
	7,6	19,08	0,029	997	33,2	1015,3	57
	6,8	19,09	0,026	989	33,1	1015,3	57
	5,5	19,11	0,023	958,5	33,1	1016	57
	4	19,13	0,021	997,8	32,2	1016	57
	3,3	19,13	0,019	987,2	32,2	1016	57
	1,1	19,14	0,017	1013	32,2	1016	58
Voc	Isc	Vm	Im	A	Daya In	FF	efisiensi (%)
19,24	2,927	14,99	2,513	0,2743	273,4037	0,668908	13,77811

5. Cerah Pukul 12.00-13.00

Pukul	R(Ω)	Intensitas (W/m ²)	V (V)	I (A)	T (°C)	P	K(%)
12.00-13.00	0,5	916	0,365	2,657	35,6	1011,1	43
	0,7	917	0,503	2,619	35,4	1011,1	43
	1,9	933	3,276	2,563	35,6	1011,1	43
	3,1	927	6,41	2,617	35,6	1011,6	43
	5,3	909	12,38	2,608	35,8	1011,6	42
	6,8	902	14,73	2,452	35,8	1011,6	42
	7,9	918	15,45	2,312	35,7	1011,6	41
	12	910	16,99	1,676	35,7	1011,6	41
	13,8	906	17,46	1,426	35,7	1011,6	41
	27,3	901	18,23	0,727	35,7	1011,6	41
	31,7	900	18,38	0,577	35,3	1011,1	43
	40,6	910	18,57	0,455	35,3	1011,1	43
	50,7	921	18,68	0,383	35,3	1011,1	43
	70,8	912	18,78	0,266	35,3	1011,1	43
	87,5	910	18,84	0,217	35,3	1011,1	43
	106,7	916	18,9	0,178	35,3	1011,1	43
	130,4	901	18,92	0,146	35,3	1011,1	43
	185	915	18,95	0,103	35,2	1011,1	44
	190,2	913	18,98	0,1	35,2	1011,1	44
	204,2	910	18,99	0,094	35,1	1011,1	44
	242,7	891	19	0,079	35,1	1011,1	44
	238,1	911	19,02	0,049	35,1	1011,1	44
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	FF	Pinput	Efisiensi (%)
19,21	2,611	14,73	2,452	0,2743	0,720094	249,9746	14,44865

6. Cerah Pukul 13.00-14.00

Pukul	R(Ω)	Intensitas (W/m ²)	V (V)	I (A)	T (°C)	P	K(%)
13.00-14.00	0,3	935	0,299	2,665	27,3	1029,8	57
	0,8	976	0,388	2,661	28	1029,8	58
	1,2	959	0,521	2,655	28,4	1029,8	57
	1,9	952	5,8	2,652	32,5	1022,2	52
	3,5	990	10,31	2,649	32,8	1022,2	52
	4,4	974	12,85	2,576	32,8	1022,2	52
	6,9	980	16,08	2,243	32,8	1022,2	52
	10,2	999	17,36	1,74	32,8	1022,2	52
	20,3	984	18,44	1,351	29,1	1022,2	57
	24,8	963	19,1	0,873	29,9	1022,2	57
	28	990	19,3	0,668	31,2	1022,2	56
	36,8	958	19,45	0,518	32,1	1022,2	55
	49,2	988	19,52	0,401	32,4	1022,2	54
	61,9	984	19,6	0,32	32,4	1022,2	54
	78,3	985	19,63	0,259	32,4	1022,2	53
	112,1	980	19,67	0,179	32,4	1022,2	53
	228	996	19,72	0,088	32,4	1022,2	53
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	FF	Pinput	Efisiensi (%)
21,56	2,683	16,08	2,243	0,274 3	0,62351 4	267,732 9	13,47142

7. Cerah Pukul 14.00-15.00

Pukul	R(Ω)	V(V)	I(A)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
14.00-15.00	414,2	0,316	2,124	913	39,1	1000	40
	215,2	0,351	2,098	908	39,9	1000	40

	162	0,515	1,932	900	39,8	1000	40
	113,5	13,65	1,573	890	39,7	1000	40
	92,5	15,61	1,55	897	39,5	1000	40
	70,8	16,1	1,5	90	39,4	1000	41
	47,5	16,55	1,4	910	38,4	1000	41
	12,5	16,95	1,338	865	39,4	997,8	40
	11,5	18,87	0,412	874	39,4	997,8	40
	10,7	19,09	0,273	860	39,4	997,8	40
	9,6	19,18	0,211	875	39,5	997,8	40
	8,8	19,22	0,17	873	39,6	997,8	39
	3	19,3	0,119	912	36,9	1000	42
	2,1	19,34	0,089	902	36,7	1013,2	42
	1	19,35	0,046	926	36,4	1013,2	43
	Voc	Isc	Vm	Im	A	P Input	FF
19,77	2,149	15,61	1,55	0,2743	230,3206	0,569497	10,50514

8. Cerah Pukul 15.00-16.00

Pukul	R(Ω)	Intensitas (W/m ²)	V (V)	I (A)	T (°C)	P	K(%)
15,00-16,00	1	921	0,395	1,948	32,1	1017,7	52
	1,1	882	0,4	1,711	34,4	1012,9	50
	2,7	896	3,245	1,704	34,9	1012,9	49
	6,4	897	9,75	1,691	34,9	1012,9	49
	7,8	908	12,25	1,685	35	1012,9	49
	9,4	890	14,42	1,658	35,3	1012,9	49
	14,1	813	15,66	1,629	33	1017,7	51
	20,8	825	18,66	0,907	33,1	1017,7	51
	28,2	848	19,2	0,66	33,1	1017,7	51
	36	867	19,38	0,537	33,2	1017,7	51

	43,3	873	19,52	0,457	33,2	1017,7	51
	56,1	907	19,64	0,349	33,2	1017,7	51
	87,5	909	19,8	0,229	33,4	1017,7	51
	140,4	870	19,89	0,146	33,6	1017,7	51
	213,6	878	19,94	0,095	33,6	1017,7	51
	390	886	19,95	0,051	33,9	1017,7	50
	667	864	19,96	0,03	34	1017,7	50
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	FF	Pinput	Efisiensi (%)
21,02	2,04	15,66	1,629	0,2743	0,594908	240,9645	10,58668

9. Mending Pukul 08.00-09.00

Pukul	R(Ω)	V(V)	I(A)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
08,00-09,00	1,2	0,363	1,368	457	37,4	1014,5	41
	4,6	3,697	1,306	415,7	38,8	1014,5	39
	6,1	6,81	1,257	405,4	39,2	1014,5	39
	9,7	10,83	1,236	453	39,2	1014,5	39
	14	15,68	1,221	349,8	38,9	1003,6	38
	41,5	19,59	0,48	8,6	31,7	1033,1	49
	59,3	19,97	0,337	431	32,2	1033,1	48
	99,1	20,17	0,209	445	32,6	1033,1	48
	185	20,21	0,112	388,2	33	1033,1	47
	279,8	20,24	0,073	388,3	33,5	1014,5	47
	817	20,32	0,025	386,2	34,1	1014,5	45
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	P	FF	Intensitas (%)
20,92	1,5	15,68	1,221	0,2743	102,9423	0,610111	18,59807

10. Mending Pukul 09.00-10.00

Pukul	R(Ω)	Intensitas (W/m ²)	V (V)	I (A)	T (°C)	P	K(%)
09,00-10,00	0,2	253	0,145	1,288	27,6	1026,4	58
	0,6	396	0,155	1,208	27,6	1026,4	58
	1,8	331	1,726	1,164	33,6	1017	49
	4,1	317	3,405	1,136	34,3	1017	49
	10,4	338	11,47	1,108	35,7	1017	47
	11,1	314	12,09	1,091	35,9	1017	47
	14	250	17,81	0,816	30,6	1026,4	53
	32,5	250	18,97	0,598	30,6	1026,4	53
	40	254	19,29	0,5	31,2	1026,4	52
	44	275	19,42	0,454	31,5	1026,4	52
	44,6	249	19,46	0,438	31,8	1026,4	51
	52,7	268	19,57	0,373	31,8	1026,4	51
	62,7	270	19,66	0,319	32	1026,4	51
	69	250	19,71	0,277	32,3	1026,4	51
	82,4	252	19,76	0,242	32,5	1026,4	51
	93,4	282	19,79	0,218	32,5	1026,4	51
	121,2	285	19,84	0,183	32,8	1026,4	50
	171	257	19,94	0,121	32,8	1026,4	50
	234	269	19,99	0,088	33	1026,4	50
	322	254,5	20,02	0,064	33,1	1026,4	50
	368	241	20,03	0,056	33,1	1026,4	49
	644	253	20,09	0,031	33,2	1026,4	49
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	FF	Pinput	Efisiensi (%)
20,78	0,909	17,81	0,816	0,2734	0,769387	75,912	19,14448

11. Mendung Pukul 10.00-11.00

Pukul	R(Ω)	Intensitas (W/m ²)	V (V)	I (A)	T (°C)	P	K(%)
10,00- 11,00	0,2	254	0,198	0,866	36,5	1013	46
	0,3	224	0,219	0,86	36,4	1013	46
	1,6	250	1,316	0,851	34,7	1014,6	48
	2,8	274	2,232	0,847	34,7	1014,6	48
	4,7	259	5,92	0,838	34,8	1014,6	48
	9	252	7,5	0,835	34,8	1014,6	48
	11,7	279	9,54	0,826	34,9	1014,6	48
	12,7	269	10,54	0,81	35	1014,6	48
	13	300	10,88	0,8	35,1	1014,6	48
	24,6	223	16,94	0,674	36,2	1013	48
	43,6	206	17,63	0,584	36,2	1013	48
	50,6	196	18,67	0,373	36,1	1013	48
	55,6	182	18,76	0,338	36	1013	48
	62,1	165	18,84	0,304	35,9	1013	48
	70,3	182	18,95	0,272	35,8	1013	47
	76	126	19	0,254	35,8	1013	47
	83,4	173	19,07	0,23	35,8	1013	46
	100,2	166	19,18	0,202	35,6	1013	46
	107,4	186	19,25	0,181	35,5	1013	47
	125	190	19,35	0,155	35,5	1013	47
	141	191	19,41	0,145	35,4	1013	47
	168,7	181	19,54	0,116	35,3	1013	47
	201,3	235	19,6	0,099	35,5	1014,6	47
	256	241	19,69	0,08	35,1	1014,6	47
	457	246	19,81	0,043	35	1014,6	47
	658	237	19,87	0,03	34,9	1014,6	47
	789	237	19,9	0,025	34,8	1014,6	48

	1000	253	19,92	0,018	34,8	1014,6	48
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	FF	Pinput	Efisiensi (%)
19,85	0,88	16,94	0,674	0,2734	$\frac{0,65362}{7}$	$\frac{60,3139}{9}$	18,9302

12. Mending Pukul 11.00-12.00

Pukul	R(Ω)	Intensitas (W/m ²)	V (V)	I (A)	T (°C)	P	K(%)
11,00-12,00	0,3	47,2	0,027	0,132	28,15	1025,8	59
	31,7	43,1	4,06	0,135	29	1025,8	58
	49,5	41,1	6,08	0,129	29,2	1025,8	58
	72,9	34	8,9	0,127	29,3	1025,8	58
	85,1	35	10,12	0,126	29,3	1025,5	58
	124,1	33	14,41	0,121	29,5	1025,5	57
	143,4	32	15,68	0,113	29,5	1025,5	57
	158,5	32	16,24	0,107	29,5	1025,5	57
	169	31,9	16,48	0,102	29,5	1025,5	57
	191,2	27,3	16,96	0,092	29,6	1025,5	57
	235,1	25,7	17,52	0,077	29,5	1025,5	56
	253	30	17,66	0,071	29,5	1025,5	56
	274	30,4	17,75	0,067	29,5	1025,5	56
	286,7	28,4	17,81	0,064	29,5	1025,5	56
	313	25	17,92	0,059	29,5	1025,5	56
	357,4	28	18,05	0,052	29,5	1025,5	56
	403	32	18,14	0,046	2,4	1025,5	56
	433	30	18,2	0,042	29,4	1025,5	56
	477	28,7	18,26	0,039	29,4	1025,5	56
	532	28,6	18,33	0,035	29,3	1025,5	56
	607	26,3	18,39	0,03	29,3	1025,5	56
	565	30	18,43	0,028	29,3	1025,5	56

	731	26,6	18,46	0,025	29,3	1025,5	56
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	Pin	FF	efisiensi (%)
19,01	0,146	15,68	0,113	0,2734	8,633497	1,566428	20,52286

13. Mending Pukul 12.00-13.00

Pukul	R(Ω)	V(V)	I(A)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
12,00-13,00	0,5	0,1489	1,155	605	30,7	1025,6	58
	20,6	17,58	0,802	560	30,8	1025,6	57
	200	19,02	0,095	177	31,8	1018	55
	242	19,07	0,079	160	31,8	1018	55
	242	19,08	0,078	165	31,8	1018	55
	250,7	19,13	0,077	160	31,7	1018	55
	260,1	19,24	0,074	190	31,7	1018	55
	274,2	19,34	0,07	181	31,7	1018	55
	297,2	19,39	0,065	196	31,7	1018	55
	314	19,42	0,062	200	31,7	1018	55
Voc	Isc	Vm	Im	A	Daya In	FF	efisiensi (%)
21,42	1,903	17,58	0,802	0,2743	71,15342	0,345888	19,81515

14. Mending Pukul 13.00-14.00

Pukul	R(Ω)	V(V)	I(A)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
13,00-14,00	0,1	0,067	0,042	8,8	26,8	1028,4	61
	0,2	0,07	0,041	9,8	26,7	1028,4	60
	1,2	0,1325	0,04	9,8	26,8	1028,4	61
	11,7	0,0487	0,04	8,8	26,8	1028,4	61
	12,5	0,534	0,038	8,8	26,8	1028,4	61
	33,8	1,253	0,037	8,8	26,7	1028,4	61

	443	14,32	0,032	10,6	26,7	1028,4	61
	524	15,28	0,03	10,6	26,8	1028,4	61
	688	16,27	0,024	10,6	26,8	1028,4	61
	811	16,59	0,021	9,6	26,8	1028,4	61
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	Pin	FF	Efisiensi (%)
17,73	0,038	14,32	0,032	0,27432	2,638958	0,680144	17,36443

15. Mendung Pukul 14.00-15.00

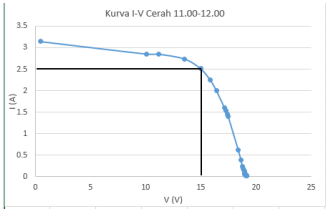
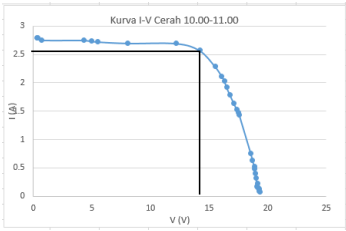
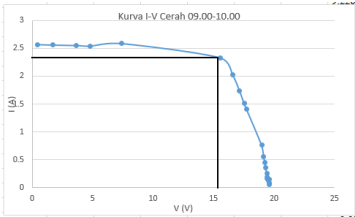
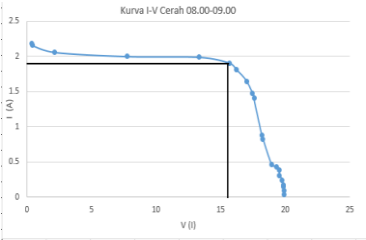
Pukul	R(Ω)	V(V)	I(A)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
14,00-15,00	0,5	0,166	0,325	102,3	29,8	1016,6	56
	0,8	0,224	0,322	105	31	1016,6	56
	5,3	8,35	0,31	107,3	31,4	1016,6	55
	67,7	17,3	0,283	109,9	31,8	1016,6	55
	81,6	17,98	0,244	110,5	32,4	1016,6	54
	105,3	18,58	0,188	106,4	32,7	1016,6	53
	126,4	18,76	0,165	107	32,7	1016,6	53
	140	18,9	0,147	119,8	33	1016,6	53
	157	19	0,131	120,5	33	1016,6	53
	161	19,07	0,12	120,6	33,2	1016,6	52
	213	19,21	0,095	122,6	33,2	1016,6	52
	246	19,28	0,082	124,5	33,2	1016,6	52
	514	19,48	0,038	128,5	33,4	1016,6	52
	748	19,53	0,026	130,5	33,4	1016,6	52
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	Pin	FF	Efisiensi (%)
19,77	0,306	17,3	0,283	0,27432	31,65261	0,809291	15,4676

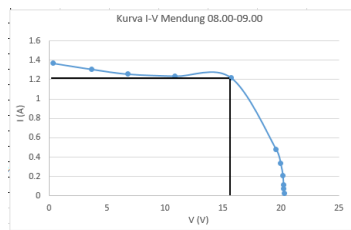
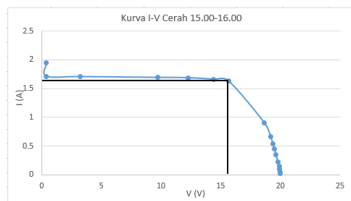
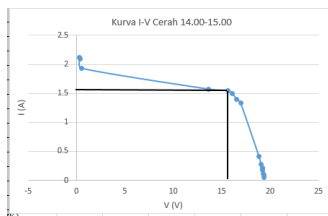
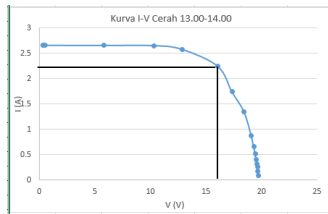
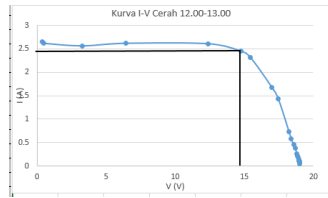
16. Mendung Pukul 15.00-16.00

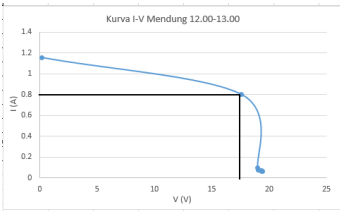
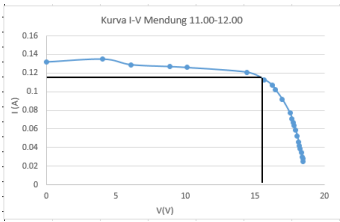
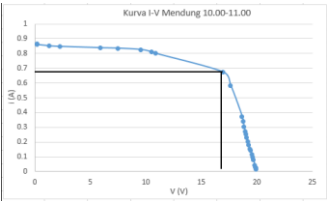
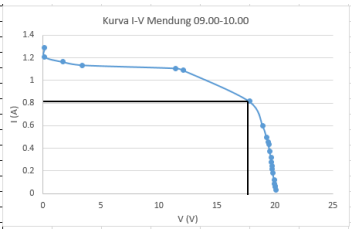
Pukul	R(Ω)	V(V)	I(A)	Intensitas (W/m ²)	T (°C)	P	K(%)
15,00-16,00	0,2	0,264	0,344	120,5	31,5	1013,7	52
	0,3	0,482	0,343	121,6	32,4	1013,7	53
	27	8,98	0,342	120,6	32,7	1013,7	53
	51,5	15,83	0,33	121,4	32,9	1013,7	53
	58,3	16,83	0,307	121,5	32,9	1013,7	53
	63,2	17,35	0,281	122,8	32,9	1013,7	53
	73,4	17,97	0,25	123,7	33,2	1013,7	53
	80,2	18,11	0,233	125,3	33,2	1013,7	53
	102,7	18,55	0,182	128,5	33,2	1013,7	53
	148,7	18,9	0,13	130,1	33,4	1013,7	52
	137	19	0,111	131,3	33,4	1013,7	52
	221,5	19,14	0,087	130,7	33,4	1013,7	52
	287	19,24	0,067	131,1	33,5	1013,7	51
	646	19,4	0,03	134,6	33,6	1013,7	51
	776	19,43	0,025	132,3	33,6	1009,1	51
	944	19,45	0,02	132,9	33,7	1009,1	51
Voc	Isc	Vmax	Imax	A	Pin	FF	Efisiensi (%)
19,44	0,347	15,83	0,33	0,27432	34,78549	0,774407	15,01747

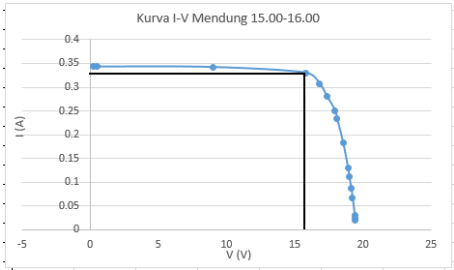
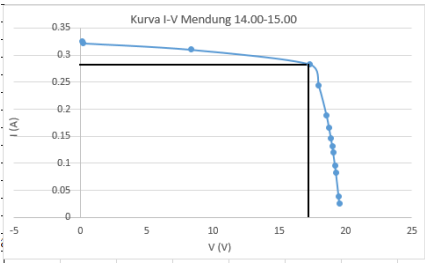
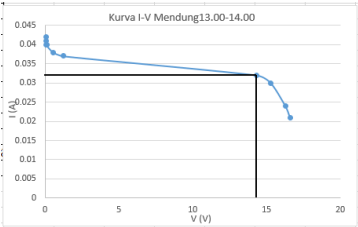
LAMPIRAN D

Kurva I-V









“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Dusun Sobo, RT II/I, Desa Ngebel, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo pada tanggal 21 Juli 1995 yang merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara, yang mana penulis diberi nama Yuli Setyaningrum. Penulis menempuh pendidikan mulai dari Taman Kanak-Kanak di TK Dharma Wanita Sub Unit Desa Ngebel, kemudian melanjutkan di SDN II Ngebel, dan selanjutnya ke jenjang pendidikan yang lebih tinggi yaitu SMPN 3 Dolopo dan dilanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 GEGER MADIUN. Penulis lulus dari pendidikan SMA pada tahun 2013 dan melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi dengan mengambil Departemen Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember angkatan 2013. Penulis memilih bidang minat Fisika Material selama menempuh perkuliahan dan aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika ITS sebagai staff Departemen Sosial Masyarakat periode 2014-2015 dan 2015-2016.

Penulis dapat dihubungi melalui:

yulis210795@gmail.com

+62857 3532 9889